

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-56560

(P2010-56560A)

(43) 公開日 平成22年3月11日 (2010.3.11)

(51) Int.Cl.		F I		テーマコード (参考)
H O 1 L 21/205 (2006.01)		H O 1 L 21/205		4 K O 3 O
H O 1 L 29/12 (2006.01)		H O 1 L 29/78 6 5 2 T		5 F O 4 5
H O 1 L 29/78 (2006.01)		H O 1 L 29/78 6 5 8 A		
H O 1 L 21/336 (2006.01)		H O 1 L 29/78 6 5 8 F		
C 2 3 C 16/26 (2006.01)		C 2 3 C 16/26		

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2009-267536 (P2009-267536)	(71) 出願人	000006013
(22) 出願日	平成21年11月25日 (2009.11.25)		三菱電機株式会社
(62) 分割の表示	特願2008-73440 (P2008-73440)		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
の分割		(74) 代理人	100113077
原出願日	平成20年3月21日 (2008.3.21)		弁理士 高橋 省吾
(31) 優先権主張番号	特願2007-209282 (P2007-209282)	(74) 代理人	100112210
(32) 優先日	平成19年8月10日 (2007.8.10)		弁理士 稲葉 忠彦
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(74) 代理人	100108431
			弁理士 村上 加奈子
		(74) 代理人	100128060
			弁理士 中鶴 一隆
		(72) 発明者	沢田 隆夫
			東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三
			菱電機株式会社内

最終頁に続く

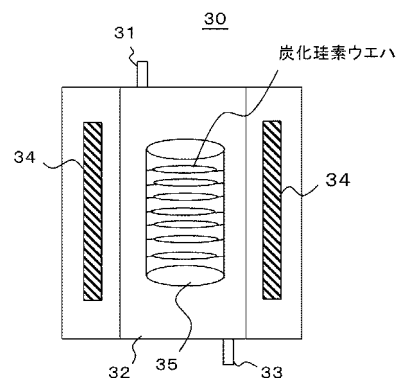
(54) 【発明の名称】 カーボン膜成膜装置

(57) 【要約】

【課題】 高純度で良質なカーボン保護膜を一括して形成可能なカーボン膜成膜装置を得る。

【解決手段】 カーボン膜成膜装置を、酸素を含む炭化水素を気化する気化器と、気化器で気化された酸素を含む炭化水素ガスを導入するガス導入管 (31) と、ガス導入管により導入される酸素を含む炭化水素ガスを熱分解してウエハの全表面にカーボン保護膜を形成するための成膜炉 (32) で構成する。

【選択図】 図10



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

酸素を含む炭化水素を気化する気化器と、
前記気化器で気化された酸素を含む炭化水素ガスを導入するガス導入管と、
前記ガス導入管により導入される前記酸素を含む炭化水素ガスを熱分解してウエハの全表面にカーボン保護膜を形成するための成膜炉とを備えたことを特徴とするカーボン膜成膜装置。

【請求項 2】

前記ガス導入管を含む前記気化器から前記成膜炉までの配管が、ヒータで加熱されることを特徴とする請求項 1 記載のカーボン膜成膜装置。

10

【請求項 3】

前記成膜炉は、ウエハ周縁部の 3 点を支持して保持する基板保持具を備えたことを特徴とする請求項 1 または 2 記載のカーボン膜成膜装置。

【請求項 4】

酸素を含む炭化水素ガスは、メチルアルコール、エチルアルコール、セタノール、ヒドロキシ酸、カルボン酸、ケトン、アルデヒド、フェノール、エステル、エーテル又はテトラヒドロフランのいずれかであることを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項記載のカーボン膜成膜装置。

【請求項 5】

炭化水素ガスを導入するガス導入管と、
前記ガス導入管により導入される前記炭化水素ガスを分解するガス分解炉と、
前記分解炉で分解される炭化水素ガスを導入してウエハの全表面にカーボン保護膜を形成する成膜炉と、
を備えたことを特徴とするカーボン膜成膜装置。

20

【請求項 6】

前記ガス分解炉は、ヒータと、前記ヒータの熱を受けてガス分解炉内を均一に加熱するための均熱材で構成されることを特徴とする請求項 5 記載のカーボン膜成膜装置。

【請求項 7】

前記均熱材は、石英ガラス、または、セラミックスからなることを特徴とする請求項 6 記載のカーボン膜成膜装置。

30

【請求項 8】

前記ガス分解炉の温度を成膜炉の温度より高く設定する請求項 5 ないし 7 のいずれか 1 項記載のカーボン膜成膜装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、特に炭化珪素半導体装置の製造に用いられるカーボン膜成膜装置に関する。

【背景技術】

【0002】

炭化珪素 (SiC) は、従来の珪素 (Si) に比べ高い耐電圧特性を有する炭化珪素半導体装置が製作可能であり、次世代の高電力用半導体装置として期待されている。このような炭化珪素を用いて炭化珪素半導体装置を製造する際に、炭化珪素基板上にエピタキシャル結晶成長させた炭化珪素層からなる炭化珪素ウエハに対して、導電型及び導電度を制御するために、n 型や p 型となる不純物をイオン注入し、イオン注入後に、注入イオンを活性化し、かつイオン注入により形成された結晶欠陥を回復するために、炭化珪素ウエハをアルゴン (Ar) 等の不活性ガスの雰囲気、高温に曝すアニール処理工程がある。このようなアニール処理は、炭化珪素ウエハを用いた場合、特性を安定にするために、なるべく高温で処理した方がよく、通常 1500℃ 以上、望ましくは 1600℃ 以上で処理される。

40

50

【0003】

しかしながら、炭化珪素ウエハを高温でアニール処理した場合、炭化珪素ウエハの表面にステップバンチングと呼ばれる凹凸面が形成される。ステップバンチングが形成される理由は、次の通りである。

【0004】

炭化珪素ウエハは、通常、炭化珪素基板上に炭化珪素層をエピタキシャル結晶成長させて得られるのであるが、この際のエピタキシャル結晶成長は、同一結晶面内に、例えば6H型や4H型などの結晶形が混在して発生するのを防止するために、結晶軸をC軸方向（結晶面である〔0001〕面に対し垂直方向）に対して4度又は8度程度傾けて行われる。

10

【0005】

このように結晶軸を傾けて結晶成長させた炭化珪素ウエハは、アニール処理のような高温に曝されると、炭化珪素ウエハの表面から構成元素である珪素（Si）及び炭素（C）が蒸発する。この蒸発の際、珪素及び炭素の蒸発条件が異なり、かつ結晶軸が傾いているために、珪素及び炭素の蒸発量が炭化珪素ウエハ面内で異なることになり、結果、炭化珪素ウエハの表面にステップバンチングが形成される。

【0006】

このようにして形成されるステップバンチングは、アニール処理後に炭化珪素ウエハ上にゲート酸化膜を形成する際の支障となり、更には、このゲート酸化膜上にゲート電極を形成する際の支障となる。例えば、炭化珪素ウエハとゲート酸化膜又はゲート酸化膜とゲート電極の境界面が凹凸となることによる密着性の低下やリーク特性の劣化などが生じる可能性がある。

20

【0007】

このため、ステップバンチングの防止或いは低減することは、炭化珪素半導体装置の品質を安定させ、歩留まりを向上させるための大きな課題である。

【0008】

このようなステップバンチングを防止或いは低減する方法として、例えば、特許文献1には、炭化珪素ウエハの表面にダイヤモンドライクカーボン膜や有機膜を形成し、この膜をアニール処理の際の珪素及び炭素の蒸発を防止する保護膜とする技術が開示されている。

30

【0009】

また、特許文献2には、イオン注入された側の炭化珪素ウエハ上に、スパッタリング法を用いてカーボン膜を形成し、このカーボン膜をアニール処理の際の珪素及び炭素の蒸発を防止する保護膜とする技術が開示されている。

【0010】

【特許文献1】特許第3760688号公報

【特許文献2】特開2005-353771号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

しかしながら、特許文献1の方法では、保護膜としてレジストを炭化させたものが用いられる。レジストには、光学活性や密着性を向上させるために、多くの炭素、水素以外の原子が含まれている。これらの炭素、水素以外の原子は、レジストを炭化させて得られた保護膜中に不純物として残留する。そのため、アニール処理の際に、不純物が蒸発し、又は飛散して炭化珪素半導体装置に対する汚染源となる。

40

【0012】

また、特許文献2の方法では、スパッタリング法を用いて形成したカーボン膜を保護膜として用いているが、スパッタリング法は、スパッタリング装置を構成している材料（例えば、アルミやステンレスなどの金属材料）なども一部スパッタリングされるため、それらが不純物として飛散して炭化珪素半導体装置に対する汚染源となる。

50

【0013】

さらに、特許文献1及び2の方法では、保護膜は炭化珪素ウエハの一方向上に形成される。具体的には、保護膜は、不純物をイオン注入した側の炭化珪素ウエハ上に形成される。このように、炭化珪素ウエハの一方向上のみには保護膜が形成された場合、アニール処理の際に、炭化珪素ウエハ内部に生じる温度勾配や炭化珪素ウエハと保護膜との熱膨張係数の相違により、不均衡な熱応力が炭化珪素ウエハに生じる。その結果、炭化珪素ウエハの結晶欠陥を増大させる。

【0014】

このような不純物の混入及び結晶欠陥の増大は、炭化珪素半導体装置の品質を不安定にするとともに歩留まり低下の要因となる。

10

【0015】

この発明は、上記のような課題を解消するためになされたもので、アニール処理の際に生じるステップバンチングを防止するために炭化珪素ウエハ上に形成される保護膜として、保護膜への不純物の混入が極めて少なく、かつ炭化珪素ウエハに対する不均衡な熱応力が生じない保護膜の形成方法を提供し、以って炭化珪素半導体装置の品質の安定と歩留まりの向上を実現する炭化珪素半導体装置の製造方法およびその製造に供するカーボン膜成膜装置を得ることを目的とするものである。

【課題を解決するための手段】

【0016】

この発明に係るカーボン膜成膜装置は、酸素を含む炭化水素を気化する気化器と、気化器で気化された酸素を含む炭化水素ガスを導入するガス導入管と、ガス導入管により導入される酸素を含む炭化水素ガスを熱分解してウエハの全表面にカーボン保護膜を形成するための成膜炉とを備える。

20

【発明の効果】

【0017】

この発明によれば、酸素を含む炭化水素を気化する気化器と、気化器で気化された酸素を含む炭化水素ガスを導入するガス導入管と、ガス導入管により導入される酸素を含む炭化水素ガスを熱分解してウエハの全表面にカーボン保護膜を形成するための成膜炉とを備えるようにしたので、高純度で良質なカーボン保護膜が一括して形成可能となる。

【0018】

30

実施の形態1

この発明の実施の形態1に係る炭化珪素半導体装置の製造方法について説明する。ここでは、一例として、パワーMOSFET (Power Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) の製造方法を、図1から図8を参照して説明する。

【0019】

まず n^+ 型(第1導電型)の半導体基板1の一方向上に、エピタキシャル結晶成長法を用いて、炭化珪素からなる n^- 型(第1導電型)の炭化珪素層2を形成する(図1)。半導体基板1としては、例えば、 n^+ 型の炭化珪素基板が好適である。この半導体基板1と炭化珪素層2でもって炭化珪素ウエハを構成する。

【0020】

40

次に炭化珪素ウエハの表面内、具体的には炭化珪素ウエハを構成する炭化珪素層2の表面内の所定の間隔に離間した部位に、レジストをマスクとして不純物をイオン注入して、p型(第2導電型)のウェル領域3を選択的に形成する(図2)。炭化珪素層2内でp型となる不純物としては、例えばボロン(B)あるいはアルミニウム(Al)が挙げられる。イオン注入後、レジストは除去される。

【0021】

次に、それぞれのウェル領域3の表面内に、レジストをマスクとして不純物をイオン注入して、n型(第1導電型)のソース領域4を選択的に形成する(図2)。ウェル領域3内でn型となる不純物としては、例えばリン(P)あるいは窒素(N)が挙げられる。イオン注入後、レジストは除去される。

50

【0022】

次に、ウェル領域3の表面内に、レジストをマスクとして、p型（第2導電型）の不純物をイオン注入して、ソース領域4の周囲に隣接して、 p^+ 型（第2導電型）のコンタクト領域5を形成する（図2）。ここではコンタクト領域5の不純物濃度は、ウェル領域3の不純物濃度より相対的に濃くなるように設定される。ウェル領域3内でp型となる不純物としては、例えばボロン（B）あるいはアルミニウム（Al）が挙げられる。イオン注入後、レジストは除去される。

【0023】

次に、例えば、アセチレン（ C_2H_2 ）、メタン（ CH_4 ）やプロパン（ C_3H_8 ）などの炭化水素ガスを用いて、CVD（Chemical Vapor Deposition）などの化学気相成長法によって、炭化珪素ウエハの全表面にカーボン保護膜6を形成する（図3）。具体的には、CVDを行う成膜装置内に、アルゴン（Ar）などの不活性ガスをキャリアガスとして流しながら、常圧或いは減圧下で成膜装置内の温度を900℃から1000℃の範囲に加熱する。加熱時間は20分程度である。その後、キャリアガスに炭化水素ガスを10%程度含ませて流して炭化水素ガスを熱分解し、炭化珪素ウエハの全表面に所定の厚さのカーボン保護膜6を形成する。ここで所定の厚さは、保護膜としての効果が生じる1nm以上で、炭化珪素ウエハに加わる温度負荷及び炭化珪素ウエハに生じる温度差によりひび割れを生じない1000nm以下がよく、より好ましくは、膜厚制御が容易な10nm以上、500nm以下がよい。このようにCVDなどの化学気相成長法によって形成されるカーボン保護膜6は、高純度の炭化水素ガスを用いることが出来るため、不純物の少ない高純度で良質なカーボン保護膜6が形成される。ここで良質とはグラファイト化が進んだ状態を指す。また、炭化珪素ウエハの全表面にカーボン保護膜6を形成するため、バッチ式の膜形成処理が可能となる。具体的には、成膜装置内に、炭化珪素ウエハの全表面に均一にカーボン保護膜6が形成可能な間隔でもって、炭化珪素ウエハを複数枚配置して、一括して膜形成が可能である。そのためスループットが向上する。

【0024】

次に全表面にカーボン保護膜6が成膜された炭化珪素ウエハをアニール処理装置に入れて、不活性ガスの雰囲気中でアニール処理を行う。具体的には、アルゴン雰囲気中で、予備加熱（1000℃程度）を行った後、所定の温度（1500℃以上、好ましくは1700℃程度）で所定の時間（30分程度）加熱し、その後速やかに冷却する。これにより、注入イオンが電氣的に活性化され、かつイオン注入より形成された結晶欠陥が回復する。アニール処理の後、カーボン保護膜6を、950℃程度の酸素雰囲気中で30分程度曝すことにより除去する。或いは、レジスト除去に用いられる酸素プラズマを用いたアッシングにより除去することもできる。このようにアニール処理の際、炭化珪素ウエハは、全表面にカーボン保護膜6が形成されているために、アニール処理の際に、炭化珪素ウエハ表面にステップバンチングが発生することがない。カーボン保護膜6を除去した後の炭化珪素ウエハ表面の凹凸をAFMで測定したところ、カーボン保護膜6がない場合は、数10nm程度の凹凸が炭化珪素ウエハの全面に発生するのに対して、この発明に係るカーボン保護膜6を用いた場合は、1nm以下の凹凸となり、その効果が確認できた。また不純物の少ない高純度なカーボン保護膜6が形成されるため、炭化珪素半導体装置を汚染することがない。さらに、炭化珪素ウエハの全表面にカーボン保護膜を形成したため、アニール処理の際に炭化珪素ウエハに生じる不均衡な熱応力が改善され、炭化珪素ウエハに生じる歪みが低減される。そのため炭化珪素ウエハの結晶に生じる欠陥が増大することがない。

【0025】

次に、カーボン保護膜6が除去された炭化珪素ウエハの一面上、具体的にはイオン注入された側の炭化珪素ウエハ上に、熱酸化法によって二酸化珪素（ SiO_2 ）からなるゲート酸化膜7を形成する（図4）。この工程で形成されるゲート酸化膜7は熱酸化膜である。

【0026】

次に、ゲート酸化膜7上に、化学気相成長法によりポリシリコン膜を形成した後、不要

10

20

30

40

50

部分を、レジストをマスクとして、ウェットエッチング法あるいはR I Eなどによるドライエッチング法により除去してゲート電極 8 を形成する（図 5）。

【0027】

次に、ゲート酸化膜 7 及びゲート電極 8 の表面上に、T E O S（Tetraethoxysilane）ガスを用いた化学気相成長法により、二酸化珪素（S i O₂）からなる層間絶縁膜 9 を形成する（図 6）。この工程で形成される層間絶縁膜 9 は T E O S 酸化膜である。

【0028】

次に、レジストをマスクとして、ウェットエッチング法あるいはR I Eなどによるドライエッチング法により、コンタクト領域 5 及び一部のソース領域 4 が露出するようにして、層間絶縁膜 9 及びゲート酸化膜 7 を除去する（図 7）。その後、レジストも除去される。

10

【0029】

次に、層間絶縁膜 9 及びゲート酸化膜 7 が除去され露出したコンタクト領域 5 及び一部のソース領域 4 上に、例えばスパッタリングなどの物理気相成長法（P V D（Physical Vapor Deposition）法）により導電膜を形成する。その後、層間絶縁膜 9 の表面上に形成された導電膜の不要部分を、レジストをマスクとして、ウェットエッチング法あるいはR I Eなどによるドライエッチング法により除去して、コンタクト領域 5 及び一部のソース領域 4 上に、ソース電極（第 1 の主電極）10 を形成する（図 8）。ソース電極 10 は、コンタクト領域 5 及びソース領域 4 に電氣的に接続されている。ソース電極 10 となる材料としてはニッケル（N i）やアルミニウム（A l）が挙げられる。

20

【0030】

最後に、炭化珪素ウエハの裏面上にスパッタリングなどの物理気相成長法により、導電膜からなるドレイン電極（第 2 の主電極）11 を形成する（図 8）。ドレイン電極 11 となる材料としてはニッケル（N i）やアルミニウム（A l）が挙げられる。

【0031】

以上により、この発明の実施の形態 1 に係る炭化珪素半導体装置である M O S F E T の主要部が完成する。

【0032】

この発明の実施の形態 1 に係る炭化珪素半導体装置の製造方法は、不純物のイオン注入後に、炭化水素ガスを熱分解させて成膜する化学気相成長法により炭化珪素ウエハの全表面に所定の厚さのカーボン保護膜を形成する工程を含むものである。これにより、不純物が少ない高純度で良質なカーボン保護膜 6 が得られるため、炭化珪素半導体装置に対する汚染が防止できる。また炭化珪素ウエハに生じる不均衡な熱応力が防止できるため、この熱応力に伴う炭化珪素ウエハの結晶欠陥の増大も防止できる。よって安定した品質と歩留まりの向上が実現可能な炭化珪素半導体装置の製造方法を得ることができる。

30

【0033】

実施の形態 2

実施の形態 1 では、アセチレンガスやメタンガスなどの炭化水素ガスを、900℃から1000℃の温度範囲で分解させて、炭化珪素ウエハの全表面に高純度で良質なカーボン保護膜 6 を形成させた。この実施の形態 1 では、炭化水素ガスの熱分解と、カーボン保護膜 6 の形成は、C V D を行う成膜装置内で、同一工程内で同時に行うことを想定している。実施の形態 2 では、C V D を行う成膜装置を、炭化水素ガスの流れに対し上流側にあるガス分解炉と下流側にある成膜炉から構成し、炭化水素ガスを分解する工程と、カーボン保護膜 6 を形成する工程を、それぞれ別の炉で別の工程で行うことを特徴とする。以下、この実施の形態 2 に係るカーボン保護膜 6 の形成方法を、図 9 に示す成膜装置の説明図を参照して説明する。なお実施の形態 2 において、炭化水素ガスを分解させてカーボン保護膜 6 を形成する工程以外の工程は、実施の形態 1 で示した工程と同一であるため、説明は省略する。

40

【0034】

図 9 において、20 はカーボン保護膜 6 を形成するための成膜装置である。成膜装置 2

50

0 は、アセチレンやメタンなどの炭化珪素ガスを分解するためのガス分解炉 2 1、炭化珪素ウエハの全表面にカーボン保護膜 6 を形成するための成膜炉 2 2、ガス分解炉 2 1 から成膜炉 2 2 に分解された炭化水素ガスを導入するための接続管 2 3、ガス分解炉 2 1 に炭化水素ガスなどを導入するためのガス導入管 2 4、成膜炉 2 2 内の分解された炭化水素ガスを排気するためのガス排気管 2 5 から構成される。

【0035】

またガス分解炉 2 1 は、ヒータ 2 6 と、ヒータ 2 6 の熱を受けてガス分解炉 2 1 内を均一に加熱するための均熱材 2 7 から構成される。なお均熱材 2 7 は、石英ガラスやセラミックスからなりガス分解炉 2 1 内に配設される。またヒータ 2 6 は、ガス分解炉 2 1 の外周部に、炭化水素ガスに直接接触しないようにして設けられている。このように構成されたガス分解炉 2 1 では、ヒータ 2 6 からの熱が、均熱材 2 7 を介して炭化水素ガスに均一に伝わるので、炭化水素ガスの分解を完全に行わせることができる。

10

【0036】

また成膜炉 2 2 は、成膜炉 2 2 の外周部に、分解された炭化水素ガスに直接接触しないようにして設けられたヒータ 2 7 と、図示はしていないが、炭化珪素ウエハの全表面にカーボン保護膜 6 が形成可能なように、炭化珪素ウエハをバッチ的に配設するための載置台を有している。

【0037】

このような成膜装置 2 0 において、カーボン保護膜 6 は、次のようにして形成される。

【0038】

ガス導入管 2 4 から成膜装置 2 1 内にアルゴン (Ar) などの不活性ガスをキャリアガスとして導入する。成膜装置 2 1 内の圧力は、常圧或いは減圧となるように、ガス排気管 2 5 で排気量が調整される。成膜装置 2 1 内の圧力が常圧或いは減圧下において、2 0 程度で、ガス分解炉 2 1 内の温度を 8 0 0 °C 程度に、成膜炉 2 2 の温度を 5 0 0 °C から 8 0 0 °C の範囲内で加熱する。その後、キャリアガスにアセチレンガスやメタンガスなどの炭化水素ガスを 1 0 % 程度含有させて流し、ガス分解炉 2 1 で炭化水素ガスを熱分解する。なお、炭化水素ガスは、最初からキャリアガスに含有させて流してもよい。炭化水素ガスの分解は、均熱材 2 7 があるために、ほぼ完全に行われる。ガス分解炉 2 1 で分解された炭化水素ガスは、接続管 2 3 を介して成膜炉 2 2 に導かれる。成膜炉 2 2 に導かれた分解された炭化水素ガスは、成膜炉 2 2 に載置された炭化珪素ウエハの全表面に、不純物が少なく高純度で良質な所定の厚さのカーボン保護膜 6 を形成する。所定の厚さは、保護膜としての効果が生じる 1 nm 以上で、炭化珪素ウエハに加わる温度負荷及び炭化珪素ウエハに生じる温度差によりひび割れを生じない 1 0 0 0 nm 以下がよく、より好ましくは、膜厚制御が容易な 1 0 nm 以上、5 0 0 nm 以下がよい。また良質とは、グラファイト化が進んだ状態を指す。所定の厚さのカーボン保護膜 6 を形成した後は、速やかに成膜装置 2 1 内のガスを排気すると共に、成膜装置 2 1 内の温度を、炭化珪素ウエハが取出し可能な温度まで下げる。

20

30

【0039】

この実施の形態 2 によれば、成膜装置をガス分解炉 2 1 と成膜炉 2 2 に分け、カーボン保護膜 6 を形成する前に、前もってアセチレンガスやメタンガスなどの炭化水素ガスを分解する工程を設けたので、実施の形態 1 よりも低い温度で、実施の形態 1 と同等の効果を有するカーボン保護膜 6 が形成できる。よって安定した品質と歩留まりの向上が実現可能な炭化珪素半導体装置の製造方法を得ることができる。

40

【0040】

また、例えば、成膜炉 2 2 内の温度を実施の形態 1 と同等の温度にすれば、実施の形態 1 に比して、より良質な、具体的にはよりグラファイト化の進んだカーボン保護膜 6 を得ることができる。よってより安定した品質と歩留まりの向上が実現可能な炭化珪素半導体装置の製造方法を得ることができる。

【0041】

実施の形態 3

50

実施の形態 1 及び 2 では、アセチレン、メタン又はプロパンなどの炭化水素ガスを例として説明したが、酸素を含む炭化水素ガスであるエチルアルコール (C_2H_4OH : エタノール) やメチルアルコール (CH_3OH : メタノール) などの低級アルコールを用いることもできる。ここでは、エタノールやメタノールを用いた炭化珪素半導体装置の製造方法を、パワー MOSFET を例にして説明する。なおパワー MOSFET の製造方法は、カーボン保護膜の形成方法を除いて、実施の形態 1 で示した図 1 から図 8 と同等である。そのため、図 1 から図 8 を参照して説明する。

【0042】

まず n^+ 型 (第 1 導電型) の半導体基板 1 の一方向上に、エピタキシャル結晶成長法を用いて、炭化珪素からなる n^- 型 (第 1 導電型) の炭化珪素層 2 を形成する (図 1)。半導体基板 1 としては、例えば、 n^+ 型の炭化珪素基板が好適である。この半導体基板 1 と炭化珪素層 2 でもって炭化珪素ウエハを構成する。

10

【0043】

次に炭化珪素ウエハの表面内、具体的には炭化珪素ウエハを構成する炭化珪素層 2 の表面内の所定の間隔に離間した部位に、レジストをマスクとして不純物をイオン注入して、 p 型 (第 2 導電型) のウェル領域 3 を選択的に形成する (図 2)。炭化珪素層 2 内で p 型となる不純物としては、例えばボロン (B) あるいはアルミニウム (Al) が挙げられる。イオン注入後、レジストは除去される。

【0044】

次に、それぞれのウェル領域 3 の表面内に、レジストをマスクとして不純物をイオン注入して、 n 型 (第 1 導電型) のソース領域 4 を選択的に形成する (図 2)。ウェル領域 3 内で n 型となる不純物としては、例えばリン (P) あるいは窒素 (N) が挙げられる。イオン注入後、レジストは除去される。

20

【0045】

次に、ウェル領域 3 の表面内に、レジストをマスクとして、 p 型 (第 2 導電型) の不純物をイオン注入して、ソース領域 4 の周囲に隣接して、 p^+ 型 (第 2 導電型) のコンタクト領域 5 を形成する (図 2)。ここではコンタクト領域 5 の不純物濃度は、ウェル領域 3 の不純物濃度より相対的に濃くなるように設定される。ウェル領域 3 内で p 型となる不純物としては、例えばボロン (B) あるいはアルミニウム (Al) が挙げられる。イオン注入後、レジストは除去される。

30

【0046】

次に、例えば、エタノールやメタノールなどの酸素を含む炭化水素ガスを用いて、CVD などによる化学気相成長法によって、炭化珪素ウエハの全表面にカーボン保護膜 6 を形成する (図 3)。

【0047】

具体的には、CVD を行う成膜装置内に、アルゴン (Ar) などの不活性ガスをキャリアガスとして流しながら、 $1.33 \times 10^4 \text{ Pa}$ (100 Torr) 以下、好ましくは $6.67 \times 10^3 \text{ Pa}$ (50 Torr) 以下、より好ましくは $1.33 \times 10^3 \text{ Pa}$ (10 Torr) 以下の減圧下で成膜装置内の温度を 850°C から 1000°C の範囲に加熱する。加熱時間は 20 分程度である。その後、キャリアガスを停止又は流した状態で酸素を含む炭化水素ガスを供給し、前述した減圧下で酸素を含む炭化水素ガスを熱分解し、炭化珪素ウエハの全表面に所定の厚さのカーボン保護膜 6 を形成する。ここで所定の厚さは、保護膜としての効果が生じる 1 nm 以上で、炭化珪素ウエハに加わる温度負荷及び炭化珪素ウエハに生じる温度差によりひび割れを生じない 1000 nm 以下がよく、より好ましくは、膜厚制御が容易な 10 nm 以上、 500 nm 以下がよい。このように CVD などの化学気相成長法によって形成されるカーボン保護膜 6 は、高純度の炭化水素ガスを用いることが出来るため、不純物の少ない高純度で良質なカーボン保護膜 6 が形成される。ここで良質とはグラファイト化が進んだ状態を指す。また、炭化珪素ウエハの全表面にカーボン保護膜 6 を形成するため、パッチ式の膜形成処理が可能となる。具体的には、成膜装置内に、炭化珪素ウエハの全表面に均一にカーボン保護膜 6 が形成可能な間隔でもって、炭化

40

50

珪素ウエハを複数枚配置して、一括して膜形成が可能である。そのためスループットが向上する。

【0048】

ここで、実施の形態3におけるカーボン保護膜6を形成するのに適している成膜装置の例を図10に示す。

【0049】

図10において、30はカーボン保護膜6を形成するための成膜装置である。成膜装置30は、エタノールやメタノールなどの酸素を含む炭化水素ガスを成膜装置内に導入するためのガス導入管31、炭化珪素ウエハの全表面にカーボン保護膜6を形成するための成膜炉32、熱分解された炭化水素ガスを排気するためのガス排気管33、成膜炉32の外周部に、炭化珪素ガスに直接触れないように設けられた炭化水素ガスを熱分解させるためのヒータ34、炭化珪素ウエハの全表面に、カーボン保護膜6が形成可能なように保持し、かつ炭化珪素ウエハをバッチ的に成膜するための基板保持具35から構成される。基板保持具35は、炭化珪素ウエハの周縁部、例えば、炭化珪素ウエハの周縁部の3点を支持して保持できるようにしたものが考えられる。なお、実施の形態1及び2で示した炭化珪素ウエハを保持するための載置台と基板保持具35は同等の機能を有するものである。

【0050】

この成膜装置30によるカーボン保護膜6の形成は次のとおりである。

【0051】

ガス導入管31から成膜炉32内にアルゴン(Ar)などの不活性ガスをキャリアガスとして導入する。成膜炉32内の圧力は、減圧状態(1.33×10^{-4} Pa (100 Torr)以下、好ましくは 6.67×10^{-3} Pa (50 Torr)以下、より好ましくは 1.33×10^{-3} Pa (10 Torr)以下)となるように、ガス排気管33で排気量が調整される。成膜炉32内の圧力が前述した減圧状態下において、30分程度で、成膜炉32内の温度を、ヒータ34により800℃から1000℃の範囲内で加熱する。成膜炉32内の温度が所定の温度に到達した時点で、キャリアガスを止めて、成膜炉内32内に、エタノールやメタノールなどの酸素を含む炭化水素ガスをガス導入管31から導入し所定の圧力に調整する。例えば、成膜炉32内の圧力は、前述した減圧状態にする。成膜炉32に導入された酸素を含む炭化水素ガスは、この成膜炉32内で分解され、基板保持具35に載置された複数の炭化珪素ウエハの全表面に、不純物が少なく高純度で良質な所定の厚さのカーボン保護膜6を形成する。ここで所定の厚さは、前述したように、保護膜としての効果が生じる1nm以上で、炭化珪素ウエハに加わる温度負荷及び炭化珪素ウエハに生じる温度差によりひび割れを生じない1000nm以下がよく、より好ましくは、膜厚制御が容易な10nm以上、500nm以下がよい。また良質とは、グラファイト化が進んだ状態を指す。所定の厚さのカーボン保護膜6を形成した後は、速やかに成膜炉32内のガスを排気すると共に、再びキャリアガスを導入して、成膜炉32内の温度を、炭化珪素ウエハが取出し可能な温度まで下げる。これにより、炭化珪素ウエハの全表面に不純物が少なく高純度で良質な所定の厚さのカーボン保護膜6が形成される。なお図10に示した成膜装置30の構成は、実施の形態1で示したカーボン保護膜6の形成の際にも用いることができる。なお図10に示す成膜装置30の構成は一例を示したものであり、特に構成を限定するものではない。図10に示す成膜装置30に相当する構成を備えていればよい。

【0052】

次に全表面にカーボン保護膜6が成膜された炭化珪素ウエハをアニール処理装置に入れて、不活性ガスの雰囲気アニール処理を行う。

【0053】

具体的には、アルゴン雰囲気、予備加熱(1000℃程度)を行った後、所定の温度(1500℃以上、好ましくは1700℃程度)で所定の時間(30分程度)加熱し、その後速やかに冷却する。これにより、注入イオンが電氣的に活性化され、かつイオン注入より形成された結晶欠陥が回復する。

10

20

30

40

50

【0054】

アニール処理の後、カーボン保護膜6を、950℃程度の酸素雰囲気中で30分程度曝すことにより除去する。或いは、レジスト除去に用いられる酸素プラズマを用いたアッシングにより除去することもできる。

【0055】

このようにアニール処理の際、炭化珪素ウエハは、全表面にカーボン保護膜6が形成されているために、アニール処理の際に、炭化珪素ウエハ表面にステップバンチングが発生することがない。カーボン保護膜6を除去した後の炭化珪素ウエハ表面の凹凸をAFMで測定したところ、カーボン保護膜6がない場合は、数10nm程度の凹凸が炭化珪素ウエハの全面に発生するのに対して、この発明に係るカーボン保護膜6を用いた場合は、1nm以下の凹凸となり、その効果が確認できた。また不純物の少ない高純度なカーボン保護膜6が形成されるため、炭化珪素半導体装置を汚染することがない。さらに、炭化珪素ウエハの全表面にカーボン保護膜を形成したため、アニール処理の際に炭化珪素ウエハに生じる不均衡な熱応力が改善され、炭化珪素ウエハに生じる歪みが低減される。そのため炭化珪素ウエハの結晶に生じる欠陥が増大することがない。

10

【0056】

次に、カーボン保護膜6が除去された炭化珪素ウエハの一方面上、具体的にはイオン注入された側の炭化珪素ウエハ上に、熱酸化法によって二酸化珪素(SiO_2)からなるゲート酸化膜7を形成する(図4)。この工程で形成されるゲート酸化膜7は熱酸化膜である。

20

【0057】

次に、ゲート酸化膜7上に、化学気相成長法によりポリシリコン膜を形成した後、不要部分を、レジストをマスクとして、ウェットエッチング法あるいはRIEなどによるドライエッチング法により除去してゲート電極8を形成する(図5)。

【0058】

次に、ゲート酸化膜7及びゲート電極8の表面上に、TEOSガスを用いた化学気相成長法により、二酸化珪素(SiO_2)からなる層間絶縁膜9を形成する(図6)。この工程で形成される層間絶縁膜9はTEOS酸化膜である。

【0059】

次に、レジストをマスクとして、ウェットエッチング法あるいはRIEなどによるドライエッチング法により、コンタクト領域5及び一部のソース領域4が露出するようにして、層間絶縁膜9及びゲート酸化膜7を除去する(図7)。その後、レジストも除去される。

30

【0060】

次に、層間絶縁膜9及びゲート酸化膜7が除去され露出したコンタクト領域5及び一部のソース領域4上に、例えばスパッタリングなどの物理気相成長法(PVD法)により導電膜を形成する。その後、層間絶縁膜9の表面上に形成された導電膜の不要部分を、レジストをマスクとして、ウェットエッチング法あるいはRIEなどによるドライエッチング法により除去して、コンタクト領域5及び一部のソース領域4上に、ソース電極(第1の主電極)10を形成する(図8)。ソース電極10は、コンタクト領域5及びソース領域4に電氣的に接続されている。ソース電極10となる材料としてはニッケル(Ni)やアルミニウム(Al)が挙げられる。

40

【0061】

最後に、炭化珪素ウエハの裏面上にスパッタリングなどの物理気相成長法により、導電膜からなるドレイン電極(第2の主電極)11を形成する(図8)。ドレイン電極11となる材料としてはニッケル(Ni)やアルミニウム(Al)が挙げられる。

【0062】

以上により、この発明の実施の形態3に係る炭化珪素半導体装置であるパワーMOSFETの主要部が完成する。

【0063】

50

この発明の実施の形態 3 に係る炭化珪素半導体装置の製造方法は、不純物のイオン注入後に、酸素を含む炭化水素ガスを熱分解させて成膜する化学気相成長法により炭化珪素ウエハの全表面に所定の厚さのカーボン保護膜を形成する工程を含むものである。これにより、不純物が少ない高純度で良質なカーボン保護膜 6 が得られるため、炭化珪素半導体装置に対する汚染が防止できる。また炭化珪素ウエハに生じる不均衡な熱応力が防止できるため、この熱応力に伴う炭化珪素ウエハの結晶欠陥の増大も防止できる。よって安定した品質と歩留まりの向上が実現可能な炭化珪素半導体装置の製造方法を得ることができる。

【0064】

また酸素を含む炭化水素ガスを用いて成膜したカーボン保護膜は、酸素を含まない一般的な炭化水素ガスを用いて成膜したカーボン保護膜より、欠陥の少ないカーボン保護膜が得られる。

10

【0065】

これは、高温時に分解して生じた活性化した酸素が、成膜時のアモルファス構造の炭素と反応して一酸化炭素を形成することにより、カーボン保護膜の欠陥を減少させる効果を有するためである。

【0066】

さらにカーボン保護膜の形成に酸素を含む炭化水素ガスを用いた場合は、CVDによるカーボン保護膜の形成中に生じる未反応の炭化水素の発生が減少するために、成膜装置内に付着する未反応の炭素や高分子の炭化水素膜が減少する。よって成膜装置のメンテナンス性が向上する効果も有する。

20

【0067】

この実施の形態 3 では、酸素を含む炭化水素ガスとしてエタノールやメタノールなどの低級アルコールを例にして説明したが、酸素を含む炭化水素ガスとしては、酸素、炭素及び水素を含んだガスであればよく、例えば、セタノールなどの高級アルコール、ヒドロキシ酸、カルボン酸、ケトン、アルデヒド、フェノール、エステル又はエーテルを気化させたものを用いてもよい。この場合、実施の形態 3 と同等の製造方法が使用可能で、同等の効果を得ることができる。なお実際の使用に当たっては、高分子のものはあまり望ましくなく、分子中に含まれる炭素数が 10 以下の低分子のものが望ましい。加えて蒸気圧の高いガスがより望ましい。この見地からすれば、エチルアルコールやメチルアルコールなどの低級アルコールが望ましいと言える。

30

【0068】

実施の形態 4

実施の形態 3 では、エタノールやメタノールなどの酸素を含む炭化水素ガスを用いてカーボン保護膜 6 を形成したものを示したが、酸素を含む炭化水素ガスとしてテトラヒドロフラン (tetrahydrofuran, THF) などの環状エーテル化合物を用いた場合は、カーボン保護膜 6 の形成条件が若干相違する。以下では、炭化珪素半導体装置の製造方法のうち、実施の形態 3 とは相違するテトラヒドロフランを用いたカーボン保護膜 6 の形成方法について、図 1 から図 8 及び図 10 を参照して説明する。その他の炭化珪素半導体装置の製造方法については、実施の形態 3 で説明したものと同一であるため、説明は省略する。

【0069】

40

実施の形態 3 で示した炭化珪素ウエハに対する図 2 までの処理の後、酸素を含む炭化水素ガスとしてのテトラヒドロフランを用いて、CVD などの化学気相成長法によって、炭化珪素ウエハの全表面にカーボン保護膜 6 を形成する (図 3)。

【0070】

具体的には、CVD を行う成膜炉 32 内に、アルゴン (Ar) などの不活性ガスをキャリアガスとして流しながら、減圧下で成膜装置内の温度を、ヒータ 34 を用いて 850℃ から 1000℃ の範囲に加熱する。加熱時間は 20 分程度である。その後、テトラヒドロフランを無図示の供給装置から、無図示の気化器にガス圧を印加した状態で少量ずつ供給し、気化器において 120℃ の温度でもって気化させて、ガス導入管 31 から成膜炉 32 に供給する。ここでガス導入管 31 を含む気化器から成膜炉 32 までの配管は、凝縮を避

50

けるために、配管周りに設けられた無図示のヒータで 100°C 以上に加熱されている。テトラヒドロフランは、成膜炉32内では、 $1.33 \times 10^4 \text{ Pa}$ (100 Torr) 以下で熱分解され成膜されることが必要であり、より望ましくは $7 \times 10^3 \text{ Pa}$ (52.5 Torr) にすることで成膜速度が向上する。このように、成膜炉32に導入された酸素を含む炭化水素ガスは、この成膜炉32内で分解され、基板保持具35に載置された複数の炭化珪素ウエハの全表面に、不純物が少なく高純度で良質な所定の厚さのカーボン保護膜6を形成する。ここで所定の厚さは、前述したように、保護膜としての効果が生じる 1 nm 以上で、炭化珪素ウエハに加わる温度負荷及び炭化珪素ウエハに生じる温度差によりひび割れを生じない 1000 nm 以下がよく、より好ましくは、膜厚制御が容易な 10 nm 以上、 500 nm 以下がよい。また良質とは、グラファイト化が進んだ状態を指す。所定の厚さのカーボン保護膜6を形成した後は、供給装置からのテトラヒドロフランの供給を停止させて、成膜炉32内の温度を、炭化珪素ウエハが取出し可能な温度まで下げる。

10

【0071】

これにより、実施の形態3と同じ効果を有するカーボン保護膜6を形成することができる。以降の工程は、実施の形態3で示したアニール処理以降の工程と同じである。

【0072】

実施の形態5

実施の形態1から4によれば、成膜装置で炭化珪素ウエハの全表面にカーボン保護膜6を形成した後、炭化珪素ウエハをアニール処理装置に移し変えている。このため、移し変えの際に、炭化珪素ウエハの表面に形成されているカーボン保護膜6が、擦れなどにより、剥がれたり一部破損したりして、炭化珪素半導体装置の品質及び歩留まりが低下することが懸念される。

20

【0073】

これを防止する一方法として、炭化珪素ウエハの全表面にカーボン保護膜6を形成する成膜装置と、カーボン保護膜6が形成された炭化珪素ウエハをアニールするアニール処理装置で基板保持具36を共有化する。

【0074】

具体的には、炭化珪素ウエハの全表面にカーボン保護膜6を形成可能であって、かつバッチ処理可能なように複数の炭化珪素ウエハを載置可能にした基板保持具35を、実施の形態1から4に示した成膜装置及びアニール処理装置において搭載可能にする。

30

【0075】

図11は、一般的なアニール処理装置の一例を示したものである。図11において、アニール処理装置40は、アニール炉41、このアニール炉41にアルゴンなどの不活性ガスを導入するガス導入管42、アニール炉41内を排気するためのガス排気管43、複数の炭化珪素ウエハが載置可能であり、かつ成膜装置にも利用可能な基板保持具35、基板保持具35の周囲に設けられたカーボンヒータなどのヒータ44、少なくともヒータ44の周囲に設けられ、ヒータ44の熱を均一に炭化珪素ウエハに与えるための石英やセラミックなどからなる均熱材45、アニール炉41の周囲に設けられ、ヒータ44を誘導加熱するためのコイル46から構成されている。

【0076】

このように構成されたアニール処理装置40を用いて、アニール炉41内を排気後に、アルゴンガスをガス導入管42から導入し、所定の圧力に設定されたアルゴン雰囲気の中で、コイル46により誘導加熱されたヒータ44の熱が、均熱材45により均一化され、基板保持具35に設置された炭化珪素ウエハを均一に加熱することにより、所望のアニール処理が行われる。このアニール処理の際、基板保持具35は、成膜装置で用いたものを使用している。

40

【0077】

このように成膜処理とアニール処理の間で、基板保持具35を共有することにより、炭化珪素ウエハが載置された基板保持具35ごと、成膜装置からアニール処理装置に移し変えることが可能になるため、炭化珪素ウエハの表面に形成されているカーボン保護膜6が

50

、擦れなどにより、剥がれたり一部破損したりすることがなくなるので、炭化珪素半導体装置の品質の安定と歩留まりの更なる向上を実現することができる。また、成膜装置やアニール処理装置内の汚染が減少するため生産効率を向上させることもできる。

【0078】

なお各実施の形態においては、カーボン保護膜6を形成する際、炭化珪素ウエハは基板保持具に支持される。そのため、炭化珪素ウエハと基板保持具の接触部には、カーボン保護膜6が形成されない、又は形成されにくい。しかしながら、このような接触部の領域は、炭化珪素ウエハの全領域に対して、小さいものであり、この発明の効果を何ら阻害しない。そのため、この発明において、カーボン保護膜6が全表面に形成された炭化珪素ウエハとは、炭化珪素ウエハと基板保持具の接触部において、カーボン保護膜6が形成されていない、又は形成されにくく薄膜となっている炭化珪素ウエハをも含むものである。

10

【図面の簡単な説明】

【0079】

【図1】この発明の実施の形態1から4に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の一工程を示す説明図である。

【図2】この発明の実施の形態1から4に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の一工程を示す説明図である。

【図3】この発明の実施の形態1から4に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の一工程を示す説明図である。

【図4】この発明の実施の形態1から4に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の一工程を示す説明図である。

20

【図5】この発明の実施の形態1から4に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の一工程を示す説明図である。

【図6】この発明の実施の形態1から4に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の一工程を示す説明図である。

【図7】この発明の実施の形態1から4に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の一工程を示す説明図である。

【図8】この発明の実施の形態1から4に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の一工程を示す説明図である。

【図9】この発明の実施の形態2に係る成膜装置の概要を示す説明図である。

30

【図10】この発明の実施の形態3に係る成膜装置の概要を示す説明図である。

【図11】この発明の実施の形態5に係るアニール処理装置の概要を示す説明図である。

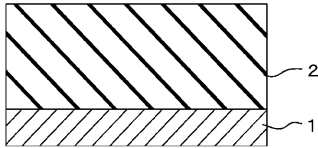
【符号の説明】

【0080】

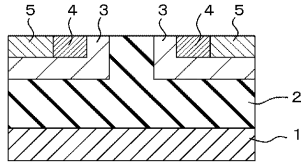
1 n^+ 型（第1導電型）の半導体基板、2 n^- 型（第1導電型）の炭化珪素層、3 p 型（第2導電型）のウェル領域、4 n 型（第1導電型）のソース領域、5 p^+ 型（第2導電型）のコンタクト領域、6 カーボン保護膜、7 ゲート酸化膜、8 ゲート電極、9 層間絶縁膜、10 ソース電極（第1の主電極）、11 ドレイン電極（第2の主電極）、20 成膜装置、21 ガス分解炉、22 成膜炉、23 接続管、24 ガス導入管、25 ガス排気管、26 ヒータ、27 ヒータ、30 成膜装置、31 ガス導入管、32 成膜炉、33 ガス排気管、34 ヒータ、35 基板保持具、40 アニール処理装置、41 アニール炉、42 ガス導入管、43 ガス排気管、44 ヒータ、45 均熱材、46 コイル

40

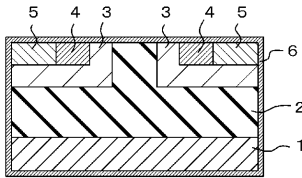
【図 1】



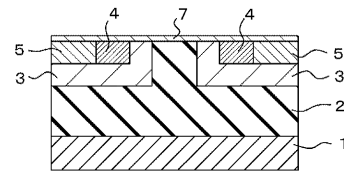
【図 2】



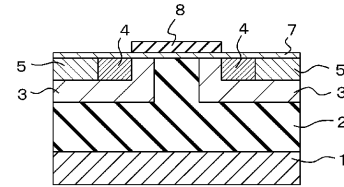
【図 3】



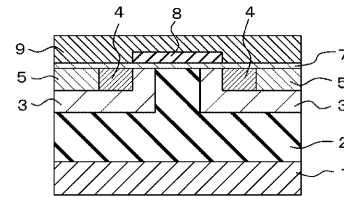
【図 4】



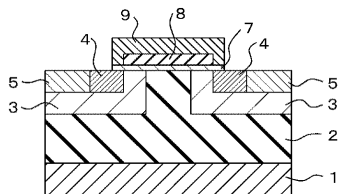
【図 5】



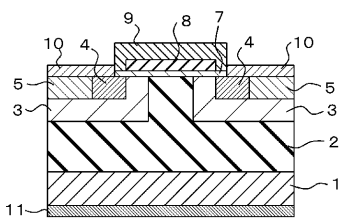
【図 6】



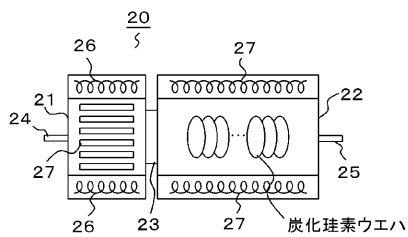
【図 7】



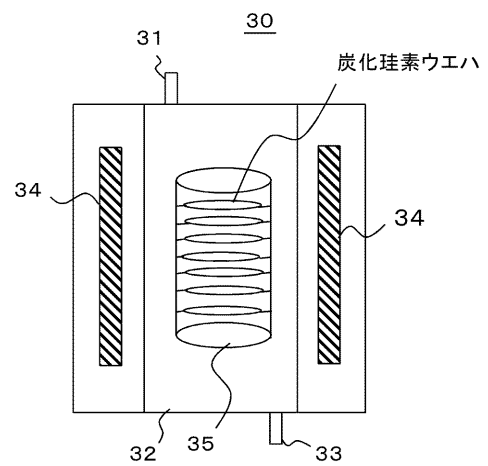
【図 8】



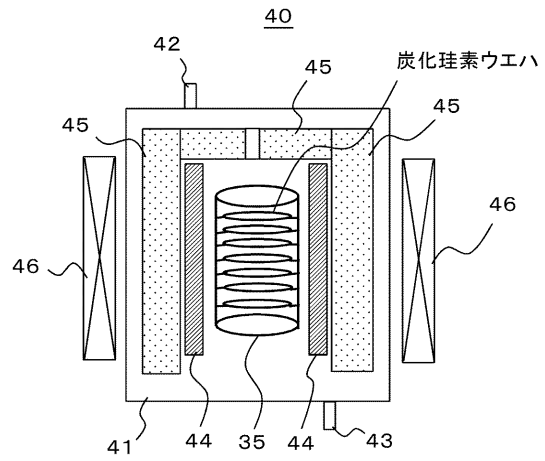
【図 9】



【図 10】



【図 1 1】



フロントページの続き

(72)発明者 渡辺 友勝

東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

Fターム(参考) 4K030 AA09 BA27 CA04 CA12 DA02 DA09 FA10 KA03 KA04 LA15

5F045 AB07 AC07 AF02 BB12 EE06 HA16