明　細　書

発明の名称 ： エピタキシャルウェーハ及びその製造方法

技術分野

[0001]　本発明はエピタキシャルウェーハ及びその製造方法に関する。

背景技術

[0002]　金属汚染は半導体デバイスの電気特性を悪化させることが知られている。金属汚染の影響を小さくするため、金属ゲッタリングサイトを用意して金属をトラップすることで、デバイス領域への金属汚染を防ぐという手法が広くとられている。代表的な例として、ＢＭＤ（Ｂｕｌｋ　Ｍｉｃｒｏ　Ｄｅｆｅｃｔ）を利用したデバイス領域下の基板バルクでの金属ゲッタリングが挙げられる。

　しかしながら、裏面照射型の固体撮像素子においては、表面に配線を行い、裏面側を薄膜化して活性層（受光層）を露出させる構造のために、バルクでのゲッタリング効果が減少することが懸念されている。

[0003]　従来の裏面照射型の固体撮像素子においては、シリコン基板表面にあらかじめ炭素をイオン注入してその上にエピタキシャル成長を行うことで、主にイオン注入された炭素によってゲッタリング効果を高める方法が提案されている（特許文献１）。優れた方法ではあるが、イオン注入装置を用いることで、クロスコンタミネーションや高コストといった問題があった。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２０１５－２１６３２７号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005]　本発明は、上記事情に鑑みてなされたもので、低コストかつ低コンタミネーションのカーボンを含有したエピタキシャルウェーハ及びそれを製造するための方法を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0006] 上記目的を達成するために、本発明は、減圧ＣＶＤ装置を用いて、シリコン基板上に、シリコン及びカーボンを含有するゲッタリングエピタキシャル膜を減圧下にて形成し、該ゲッタリングエピタキシャル膜の上に、シリコンエピタキシャル膜を形成することを特徴とするエピタキシャルウェーハの製造方法を提供する。

[0007] このような本発明のエピタキシャルウェーハの製造方法であれば、カーボンのドープの仕方が従来のようなイオン注入装置を用いた方法ではなく、減圧ＣＶＤ装置を用いた方法（減圧下でのガスドープ）であるので、低コストかつ低コンタミネーションのカーボンを含有したエピタキシャルウェーハを製造可能となる。

また同時に、ゲッタリングエピタキシャル膜の全体において（膜の厚さ方向及び径方向面内において）カーボンが均一にドープされたエピタキシャルウェーハを得ることができ、ゲッタリング能力が面内均一のものとすることができる。

イオン注入装置を用いた従来方法では、ある一定の深さにしかカーボンを注入できず、注入深さを変えるにはイオン注入条件を変える必要性があるとともに、ウェーハ面内で不均一になりがちである。しかし本発明であればゲッタリングエピタキシャル膜の成長中にガスドープできるので、従来よりも簡便に膜の厚さ方向や径方向の全般にわたって均一にカーボンドープすることができる。

このように従来と同程度以上の品質で、ゲッタリング能力を十分に有するエピタキシャルウェーハを簡便に得ることができる。

[0008] そして、前記ゲッタリングエピタキシャル膜を形成するとき、１３３Ｐａ～１０６６６Ｐａ（１Ｔｏｒｒ～８０Ｔｏｒｒ）の圧力下にて形成することができる。

[0009] このようにすれば、簡便にゲッタリングエピタキシャル層の膜厚やカーボンのドープを均一なものとすることができる。

[0010] さらには、前記ゲッタリングエピタキシャル膜を形成するとき、６６７Ｐａ～２６６６Ｐａ（５Ｔｏｒｒ～２０Ｔｏｒｒ）の圧力下にて形成することができる。

[0011] このようにすれば、より確実に膜厚やカーボンドープを均一なものとすることができる。

[0012] また、前記ゲッタリングエピタキシャル膜を形成するとき、膜厚を０．０２５μｍ～１μｍとすることができる。

[0013] このようにすればゲッタリング能力を十分に得られるとともに、ゲッタリングエピタキシャル膜を必要以上の厚さにまで形成することもなく、より確実に低コストでエピタキシャルウェーハを得ることができる。

[0014] さらには、前記ゲッタリングエピタキシャル膜を形成するとき、膜厚を０．０２５μｍ～０．３μｍとすることができる。

[0015] このようにすれば、より一層低コストで、十分なゲッタリング能力を有するエピタキシャルウェーハを得ることができる。

[0016] また、前記ゲッタリングエピタキシャル膜を形成するとき、炭素原子濃度を１．０×10^{17}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、５．０×10^{21}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下とすることができる。

[0017] このようにすれば、十分なゲッタリング能力を得ることができるとともに、ゲッタリングエピタキシャル膜の上のシリコンエピタキシャル膜も結晶性の良いものとすることができる。

[0018] また、前記ゲッタリングエピタキシャル膜を形成するとき、炭素原子濃度を１．０×10^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、１．０×10^{21}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下とすることができ、さらには１．０×10^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、５．０×10^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下とすることができる。

[0019] このようにすれば、ゲッタリング能力を十分に備えつつ、シリコンエピタキシャル膜の結晶性がより優れたものを得ることができる。

[0020] また、前記ゲッタリングエピタキシャル膜を形成するとき、シリコン及びカーボンを含有する混合ガス雰囲気下、５５０℃～１１５０℃にて形成する

ことができる。

[0021] このようにすれば、ゲッタリングエピタキシャル膜の形成及びカーボンのドープを効率良く行うことができる。

[0022] さらには、前記ゲッタリングエピタキシャル膜を形成するとき、シリコン及びカーボンを含有する混合ガス雰囲気下、５５０℃～８００℃にて形成することができる。

[0023] このようにすれば、ゲッタリングエピタキシャル膜の形成及びカーボンのドープをより一層効率良く行うことができる。

[0024] また、前記シリコン及びカーボンを含有する混合ガス雰囲気のシリコンソースとして、SiH_4、SiH_2Cl_2、$SiHCl_3$のうち少なくとも一つを用いることができる。

また、前記シリコン及びカーボンを含有する混合ガス雰囲気のカーボンソースとして、$SiH_3(CH_3)$、$SiH_2(CH_3)_2$、$SiH(CH_3)_3$、CH_4、C_2H_6、C_3H_8のうち少なくとも一つを用いることができる。

[0025] このようなガスは、シリコン及びカーボンを含有するゲッタリングエピタキシャル膜を得るのに好適である。

[0026] また本発明は、シリコン基板と、該シリコン基板上のカーボンが均一にガスドープされたシリコンからなるゲッタリングエピタキシャル膜と、該ゲッタリングエピタキシャル膜上のシリコンエピタキシャル膜とを有することを特徴とするエピタキシャルウェーハを提供する。

[0027] このような本発明のエピタキシャルウェーハであれば、低コストかつ低コンタミネーションでカーボンドープされたものである。また、ゲッタリングエピタキシャル膜全体においてカーボンが均一にガスドープされていることから、ゲッタリング能力が面内均一なものであり、従来と同程度以上の品質のものとすることができる。

[0028] そして、前記ゲッタリングエピタキシャル膜は、膜厚が０．０２５μｍ～１μｍであるものとすることができる。

[0029] このようなものであればゲッタリング能力が十分なものであるとともに、

ゲッタリングエピタキシャル膜が必要以上の厚さにまで形成されておらず、より確実に低コストなものとなる。

[0030] さらには、前記ゲッタリングエピタキシャル膜は、膜厚が０．０２５μｍ～０．３μｍであるものとすることができる。

[0031] このようなものであれば、より一層低コストで、十分なゲッタリング能力を有するものとなる。

[0032] また、前記ゲッタリングエピタキシャル膜は、炭素原子濃度が１．０×１０^{17}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、５．０×１０^{21}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であるものとすることができる。

[0033] このようなものであれば、十分なゲッタリング能力を有するとともに、ゲッタリングエピタキシャル膜の上のシリコンエピタキシャル膜も結晶性の良いものとなる。

[0034] また、前記ゲッタリングエピタキシャル膜は、炭素原子濃度が１．０×１０^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、１．０×１０^{21}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であるものとすることができ、さらには１．０×１０^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、５．０×１０^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であるものとすることができる。

[0035] このようなものであれば、ゲッタリング能力を十分に備えつつ、シリコンエピタキシャル膜の結晶性がより優れたものとなる。

[0036] また本発明は、シリコン基板と、該シリコン基板上のカーボンが均一にガスドープされたシリコンからなるゲッタリングエピタキシャル膜とを有し、

該ゲッタリングエピタキシャル膜が絶縁性と高周波特性を有することを特徴とするエピタキシャルウェーハを提供する。

[0037] このような本発明のエピタキシャルウェーハであれば、低コストかつ低コンタミネーションでカーボンドープされたものである。また、ゲッタリングエピタキシャル膜全体においてカーボンが均一にガスドープされていることから、ゲッタリング能力が面内均一なものであり、従来と同程度以上の品質のものとすることができる。さらには、絶縁性並びに高周波特性を有し、高周波デバイスの製造に好適なものとすることができる。

[0038] また、前記ゲッタリングエピタキシャル膜上にシリコンエピタキシャル膜をさらに有するものとすることができる。

[0039] このようなものであれば十分なゲッタリング能力を有するとともに、絶縁性並びに高周波特性を有し、高周波デバイスの製造に好適な、シリコンエピタキシャル膜を有するエピタキシャルウェーハとすることができる。

[0040] また、前記ゲッタリングエピタキシャル膜は、炭素原子濃度が１．０×１０^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、５．０×１０^{21}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であるものとすることができ、さらには、３．０×１０^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、１．０×１０^{21}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であるものとすることができる。

[0041] このようなものであれば、十分なゲッタリング能力を有するとともに、絶縁性並びに高周波特性をより確実に有するものを得ることができる。

[0042] また、前記ゲッタリングエピタキシャル膜は、膜厚が０．０２５μｍ～３μｍであるものとすることができ、さらには、０．０２５μｍ～１μｍであるものとすることができる。

[0043] このようなものであれば、十分なゲッタリング能力を有するとともに、絶縁性並びに高周波特性をより確実に有するものを得ることができる。

[0044] また、前記ゲッタリングエピタキシャル膜は、前記カーボンがシリコン置換位置にドープされているものとすることができる。

[0045] このようなものであれば、より一層、十分なゲッタリング能力を有するとともに高周波デバイスの製造に好適なものとすることができる。

発明の効果

[0046] 本発明のエピタキシャルウェーハ及びその製造方法であれば、低コストかつ低コンタミネーションで、シリコンエピタキシャル膜の下にカーボンドープのゲッタリングエピタキシャル膜を有するエピタキシャルウェーハを得ることができる。しかも、ゲッタリングエピタキシャル膜の全体にわたって（径方向面内でも厚さ方向でも）均一にカーボンをドープでき、ゲッタリング能力の面内均一性を図ることができる。品質面でも十分優れたエピタキシャルウェーハを得られる。さらには絶縁性並びに高周波特性を有し、高周波デ

バイスの製造に好適なエピタキシャルウェーハを得られる。

図面の簡単な説明

[0047] [図1]本発明のエピタキシャルウェーハの一例を示す概略図である。

[図2]本発明のエピタキシャルウェーハの製造方法の一例を示すフロー図である。

[図3]実施例１－４におけるカーボンドープ濃度と熱処理後のゲッタリングエピタキシャル膜中のＮｉ、Ｃｕ濃度の関係を示すグラフである。

[図4]実施例１と比較例における、エピタキシャルウェーハの表面からの深さとＮｉ、Ｃｕ、Ｃ、Ｏ濃度の関係を示すグラフである。

[図5]本発明のエピタキシャルウェーハの別の形態の一例を示す概略図である。

[図6]別形態での各Ｃ濃度における絶縁破壊電圧の関係を示すグラフである。

[図7]別形態での各Ｃ濃度における高周波特性（２ＨＤ）の関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0048] 以下、図面を参照して本発明についてより詳細に説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。

図１は本発明のエピタキシャルウェーハの一例を示す概略図である。この本発明のエピタキシャルウェーハ１は、シリコン基板２上に、シリコン及びカーボンを含有するゲッタリングエピタキシャル膜（以下、ＧＥＰ膜とも言う）３と、シリコンエピタキシャル膜４とがこの順で積層されたものである。

シリコン基板２は特に限定されず、例えばチョクラルスキー法やフローティングゾーン法などにより製造されたインゴットをスライスして得たものとすることができ、直径は例えば２００ｍｍ、さらには３００ｍｍ以上のものとすることができる。

またシリコンエピタキシャル膜４は特に限定されず、例えば従来と同様の方法により形成されたものとすることができる。必要に応じてドーパント等

を含むことができる。

[0049] また、ＧＥＰ膜３はカーボンがガスドープされたシリコンからなるエピタキシャル膜である。ガスドープのため、ＧＥＰ膜３の全体にわたって（つまり、膜の厚さ方向及び径方向面内において）カーボンが均一にドープされたものとなっている。そのため、カーボン含有によるゲッタリング能力も面内均一なものとすることができ、面内でバラついてしまうのを防ぐことができる。

一方で従来品ではカーボンドープはイオン注入によるものであるため、表面から予め設定した所定深さの位置にのみカーボンドープされたものとなる。したがって、特に膜の厚さ方向において幅を持って均一にドープされたものにはならない。ある程度の幅を持って均一なものとさせるには手間およびコストがかかるものとなる。ウェーハ面内においても、イオン注入が不均一になり易いという問題もある。

さらに、イオン注入によるものであると（すなわち、イオン注入装置を用いたカーボンドープのものであると）コストやクロスコンタミネーションの面で問題が生じ易いが、本発明の場合では、低コストかつ低コンタミネーションを達成することができる。

このように本発明品は、ゲッタリング能力の面において従来品と同等あるいはそれ以上のものと言えるし、また、コストやコンタミネーションの面において従来品よりも優れたものである。したがって、優れた品質を有するエピタキシャルウェーハである。

[0050] なお、ＧＥＰ膜３の膜厚は特に限定されないが、例えば０．０２５μｍ～１μｍ、さらに好ましくは０．０２５μｍ～０．３μｍとすることができる。このような膜厚であれば、より一層低コストで、十分なゲッタリング能力を有するものとなる。

また、その炭素原子濃度は特に限定されないが、例えば１．０×10^{17}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、５．０×10^{21}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下の範囲、さらに好ましくは１．０×10^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、１．０×10^{21}ａｔｏ

ｍｓ／ｃｍ^{3}以下の範囲、さらに好ましくは１．０×１０^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、５．０×１０^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下の範囲とすることができる。このような炭素原子濃度のものであれば、ゲッタリング能力や、シリコンエピタキシャル膜４の結晶性がより優れたものとなり、一層高品質なものとなる。

[0051] このような本発明のエピタキシャルウェーハ１は例えば裏面照射型の固体撮像素子の製造に好適なものであるが、用途は特に限定されない。

[0052] 図２は、本発明のエピタキシャルウェーハ１を製造することができる、本発明のエピタキシャルウェーハの製造方法の一例を示すフロー図である。

＜工程１：減圧下でのゲッタリングエピタキシャル膜（シリコン及びカーボン含有）の形成＞

まず、前述したようなシリコン基板２を用意し、減圧ＣＶＤ装置（ＲＰ－ＣＶＤ装置とも言う）を用いてＧＥＰ膜３を減圧下にてエピタキシャル成長により形成する。なお、減圧ＣＶＤ装置としては例えば従来から使用しているものと同様のものを用いることができる。

[0053] このように本発明ではＧＥＰ膜３のカーボンドープに関して、従来のようにイオン注入装置を用いてカーボンをイオン注入する方法ではなく、減圧ＣＶＤ装置を用いて減圧下でのエピタキシャル成長時にガスドープする方法であるため、従来よりも低コストで行うことができる。また、別のプロセスで使用していたイオン注入装置を使用することで生じ得るクロスコンタミネーションの問題の発生を防ぐことができる。さらには、従来法よりもＧＥＰ膜３全体へ均一にカーボンをドープすることができるし、ＧＥＰ膜３によるゲッタリング能力も従来法と同等程度、あるいはそれ以上のレベルで簡便に付与することができ、高品質のＧＥＰ膜３、さらにはエピタキシャルウェーハ１を得ることができる。

[0054] ＧＥＰ膜３を形成するための混合ガス雰囲気のシリコンのソースガスとしてはＳｉＨ$_4$、ＳｉＨ$_2$Ｃｌ$_2$、ＳｉＨＣｌ$_3$のうち少なくとも一つを用いることができ、また、ドープするカーボンのソースガスとしてはＳｉＨ$_3$（ＣＨ$_3$

）、$SiH_2(CH_3)_2$、$SiH(CH_3)_3$、CH_4、C_2H_6、C_3H_8のうち少なくとも一つを用いることができる。シリコンエピタキシャル膜を形成しつつカーボンをガスドープできる原料ガス、ドープガスであれば特に限定されないが、これらのソースガスであれば通常よく用いられており、入手しやすく好適である。

[0055] このときの減圧ＣＶＤ装置のチャンバー内の圧力は減圧状態であれば特に限定されないが、例えば１３３Ｐａ～１０６６６Ｐａ（１Ｔｏｒｒ～８０Ｔｏｒｒ）とすることができ、さらに好ましくは６６７Ｐａ～２６６６Ｐａ（５Ｔｏｒｒ～２０Ｔｏｒｒ）とすることができる。このような減圧下でのエピタキシャル成長によって、ＧＥＰ層３の膜厚やカーボンドープを一層簡便かつ確実に均一に行うことができる。

また、チャンバー内の保持温度は例えば５５０℃～１１５０℃とすることができ、膜形成およびカーボンドープを効率的に行うことができる。５５０℃～８００℃とすると、さらに効率良く行うことができる。

このようにして、前述したような膜厚や炭素原子濃度を有する優れた品質のＧＥＰ膜３を得ることができる。膜厚や炭素原子濃度の調整は、例えば処理時間の長さやソースガスの導入量の調整により行うことができる。

[0056] ＜工程２：シリコンエピタキシャル膜の形成＞

次に、シリコンエピタキシャル膜４の形成を行う。このシリコンエピタキシャル膜４の形成方法は特に限定されず、従来と同様の方法で形成することができる。例えば、前述したシリコンのソースガスをチャンバー内に導入するとともに１０００℃前後の保持温度の下で形成することができる。処理時間や抵抗率調整用のドープガスの制御により、所望の膜厚や、導電型や抵抗率を有するシリコンエピタキシャル膜４をＧＥＰ膜３上に形成することができる。

以上より、本発明のエピタキシャルウェーハ１を得ることができる。

[0057] また本発明の別の形態について説明する。

図５に別の形態の本発明のエピタキシャルウェーハの一例を示す。この本

発明のエピタキシャルウェーハ１’は、シリコン基板２上に、シリコン及びカーボンを含有するゲッタリングエピタキシャル膜（ＧＥＰ膜）３’と、シリコンエピタキシャル膜４とがこの順で積層されたものである。

シリコン基板２、シリコンエピタキシャル膜４は、図１の形態の場合と同様のものとすることができる。

またＧＥＰ膜３’はカーボンがガスドープされたシリコンからなるエピタキシャル膜であり、カーボンが均一にドープされたものであり、カーボン含有によるゲッタリング能力も面内均一なものとすることができる。しかも、絶縁性と高周波特性を有している。

このような本発明のエピタキシャルウェーハ１’は、例えば高周波デバイスの製造に好適なものであるが、用途は特に限定されない。

また、ここではシリコンエピタキシャル膜４を有する例を挙げたが、シリコン基板２、ＧＥＰ膜３’のみからなる構成であっても良い。

[0058] なお、ＧＥＰ膜３’の炭素原子濃度は特に限定されないが、例えば１．０×10^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、５．０×10^{21}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下の範囲、さらに好ましくは、３．０×10^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、１．０×10^{21}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下の範囲とすることができる。このような炭素原子濃度のものであれば、ゲッタリング能力や、シリコンエピタキシャル膜４の結晶性がより優れたものとなり、一層高品質なものとなるし、絶縁性並びに高周波特性をより確実に有するものとなる。

またＧＥＰ膜３’の膜厚は特に限定されないが、例えば０．０２５μｍ～３μｍ、さらに好ましくは、０．０２５μｍ～１μｍとすることができる。このような膜厚であれば、より一層低コストで、十分なゲッタリング能力を有するものとなるし、絶縁性並びに高周波特性をより確実に有するものとなる。

さらにＧＥＰ膜３’は、カーボンがシリコン置換位置にドープされているものとすることができる。この場合、ゲッタリング能力や高周波デバイスの製造の適正がより一層優れたものとなる。

[0059] なお、上述した図１のエピタキシャルウェーハ１の製造方法に対し、例えば処理時間の長さやソースガスの導入量の調整などを行って、膜厚や炭素原子濃度の調整を行うことにより、図５に示すような本発明のエピタキシャルウェーハ１’を得ることができる。カーボンのドープ位置に関して、上述したガスドープでは通常はシリコン置換位置となるが、格子間位置にガスドープされていても良い。

[0060] ここで、本発明のエピタキシャルウェーハ１’の絶縁性について調査した。

ここではシリコン基板２とＧＥＰ膜３’のみからなる構成とした。ＧＥＰ膜３’の膜厚は１μｍとした。実際にＧＥＰ膜３’における炭素原子濃度を変化させて、どのくらいの電圧まで破壊されないかを調べた。その結果（絶縁破壊耐圧）を図６に示す。横軸が炭素原子濃度、縦軸が絶縁破壊電圧値（V_{BD}）である。

なお、（炭素原子濃度：V_{BD}）の組み合わせは以下の通りである。（２．０×10^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^3：５Ｖ）、（６．０×10^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^3：８０Ｖ）、（１．０×10^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^3：２０５Ｖ）、（２．０×10^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^3：３７５Ｖ）、（３．０×10^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^3：４５０Ｖ）、（４．０×10^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^3：５１５Ｖ）、（６．０×10^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^3：５１０Ｖ）、（８．０×10^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^3：４９５Ｖ）、（１．０×10^{21}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^3：５００Ｖ）。

例えば１．０×10^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上であれば２０５Ｖ以上の絶縁破壊特性を示すことができ、より一層優れた絶縁性を得ている。なお、４．０×10^{20}～１．０×10^{21}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}では絶縁破壊耐圧は同程度であることから、少し余裕を持たせて５．０×10^{21}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}もあれば十分と言える。

[0061] また、本発明のエピタキシャルウェーハ１’の高周波特性について調査した。

ここではシリコン基板２の抵抗率を１０Ω・ｃｍとし、該シリコン基板２

上にはＧＥＰ膜３’のみからなる構成とした。ＧＥＰ膜３’の膜厚は１μｍとした。実際にＧＥＰ膜３’における炭素原子濃度を変化させるとともに、Ｃｏ－Ｐｌａｎａｒ　Ｗａｖｅｇｕｉｄｅ（ＣＰＷ）を形成し、２次高調波（２ＨＤ）特性を評価した。その結果（２ＨＤ特性）を図７に示す。横軸が炭素原子濃度、縦軸が２ＨＤである。

なお、（炭素原子濃度：２ＨＤ）の組み合わせで示すと以下の通りである。（２．０×１０^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}：－５ｄＢｍ）、（６．０×１０^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}：－１８ｄＢｍ）、（１．０×１０^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}：－２０ｄＢｍ）、（３．０×１０^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}：－２８ｄＢｍ）、（７．０×１０^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}：－２８ｄＢｍ）、（４．０×１０^{21}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}：－２８ｄＢｍ）。

２．０×１０^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}程度でも－５ｄＢｍの２ＨＤ特性を示しており、さらには、例えば１．０×１０^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上であれば－２０ｄＢｍ以下の２ＨＤ特性を示すことができ、より一層優れた高周波特性を得ている。なお、３．０×１０^{20}～４．０×１０^{21}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}では２ＨＤ特性は同程度であることから、少し余裕を持たせて５．０×１０^{21}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}もあれば十分と言える。

実施例

[0062] 以下、本発明の実施例及び比較例を示して本発明をより具体的に説明するが、本発明は
これらに限定されるものではない。

（実施例１）

直径３００ｍｍのシリコン基板上に、ＲＰ－ＣＶＤ装置を使用して、８００℃、６６７Ｐａ（５Ｔｏｒｒ）の減圧下、SiH_4と$SiH_3(CH_3)$を含有する混合ガス雰囲気にて、シリコン及びカーボンを含有するゲッタリングエピタキシャル膜（炭素原子濃度：２×１０^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}：ＳＩＭＳにて測定）を０．３μｍ形成し、該ゲッタリングエピタキシャル膜の上にシリコンエピタキシャル膜（膜厚：９μｍ）を形成して本発明のエピタキシャ

ルウェーハを製造した。

[0063] このエピタキシャルウェーハのゲッタリングエピタキシャル膜のゲッタリング能力について評価を行うため、得られたエピタキシャルウェーハに対して、Ｎｉ、Ｃｕを故意汚染した。具体的には、Ｃｕ１０００ｐｐｂの硝酸水溶液と、Ｎｉ１０００ｐｐｂの硝酸水溶液を準備し、それぞれを１０ｍｌだけウェーハ上に滴下し、スピンコーターで全面に拡がるようにコートした。その後に自然乾燥し、熱処理炉にて窒素雰囲気中で１０００℃、３０分間の熱処理を実施した。熱処理後のゲッタリングエピタキシャル膜中のＮｉ、Ｃｕ濃度はそれぞれ７．０×10^{16}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}、６．０×10^{16}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}となった。

図３に、実施例１および後述する実施例２－４におけるカーボンドープ濃度と熱処理後のゲッタリングエピタキシャル膜中のＮｉ、Ｃｕ濃度の関係をグラフで示す。

[0064]（実施例２）

評価するエピタキシャルウェーハとして、ゲッタリングエピタキシャル膜の炭素原子濃度が５×10^{18}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}であること以外は実施例１と同じ条件でエピタキシャルウェーハを製造し、故意汚染、熱処理を実施した。なお、炭素原子濃度の調整はSiH_4と$SiH_3(CH_3)$の導入量を変えることにより行った。

熱処理後のゲッタリングエピタキシャル膜中のＮｉ、Ｃｕ濃度はそれぞれ１．７×10^{15}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}、１．１×10^{15}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}となった。

[0065]（実施例３）

評価するエピタキシャルウェーハとして、ゲッタリングエピタキシャル膜の炭素原子濃度が１×10^{18}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}であること以外は実施例１と同じ条件でエピタキシャルウェーハを製造し、故意汚染、熱処理を実施した。なお、炭素原子濃度の調整はSiH_4と$SiH_3(CH_3)$の導入量を変えることにより行った。

熱処理後のゲッタリングエピタキシャル膜中のＮｉ、Ｃｕ濃度はそれぞれ１．１×１０^{15}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}、７．９×１０^{14}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}となった。

[0066]（実施例４）

評価するエピタキシャルウェーハとして、ゲッタリングエピタキシャル膜の炭素原子濃度が３×１０^{17}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}であること以外は実施例１と同じ条件でエピタキシャルウェーハを製造し、故意汚染、熱処理を実施した。なお、炭素原子濃度の調整はSiH_4と$SiH_3(CH_3)$の導入量を変えることにより行った。

熱処理後のゲッタリングエピタキシャル膜中のＮｉ、Ｃｕ濃度はそれぞれ９．２×１０^{14}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}、８．１×１０^{14}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}となった。

[0067]（比較例）

シリコンエピタキシャルウェーハに対して、イオン注入装置を用いてカーボンを加速電圧３２ｋｅＶ、ドーズ量１×１０^{15}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{2}にてイオン注入して作製した炭素含有層（炭素原子濃度：３×１０^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}）をもつシリコンエピタキシャルウェーハを用意した。実施例１と同じ条件で、故意汚染、熱処理を実施した。

なお、カーボンをイオン注入するシリコンエピタキシャルウェーハは、実施例１と同様のシリコン基板上にシリコンエピタキシャル膜（膜厚：９μｍ）を形成したものである。またイオン注入深さ（炭素含有層の位置）はシリコンエピタキシャル膜の表面から深さ９μｍの位置で、炭素含有層の厚さは０．１μｍである。

熱処理後の炭素含有層（ゲッタリングエピタキシャル膜）中のＮｉ、Ｃｕ濃度はそれぞれ１．０×１０^{17}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}、４．０×１０^{16}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}となった。

[0068] また、図４に実施例１と比較例における、エピタキシャルウェーハの表面からの深さとＮｉ、Ｃｕ、Ｃ、Ｏ濃度の関係をグラフで示す。実施例１、比

較例の各々において、特には深さ２μｍ付近にＣ濃度のピークが見られる。なお、ＳＩＭＳでの濃度測定前に表層を７μｍ研磨しているため、図４の横軸の深さ（μｍ）に関しては、研磨前の実際の深さから７μｍ差し引いた値となっている。すなわち、図４で示す２μｍの深さ位置は研磨前の９μｍの深さ位置を意味する。

ピーク濃度の値は異なるものの、実施例１では幅が０．３μｍ程度の太いピークが見られ、そのゲッタリングエピタキシャル膜の全体にわたって均一にドープされているのに対し、比較例では０．１μｍの狭いピークしか得られていない。なお、実施例１のＣ濃度において、ゲッタリングエピタキシャル膜の厚さが０．３μｍのところ、その深さ位置を中心にして浅い方向と深い方向に比較的緩やかに拡がっている。一方、比較例の方のＣ濃度ではピーク付近は急峻となっている。

[0069] そして、Ｎｉ、Ｃｕ濃度のピークがＣ濃度ピーク付近とほぼ同じ深さに位置している。なお、前述した実施例１のゲッタリングエピタキシャル膜中のＮｉ、Ｃｕ濃度（７．０×１０^{16}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}、６．０×１０^{16}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}）、比較例の炭素含有層（ゲッタリングエピタキシャル膜）中のＮｉ、Ｃｕ濃度（１．０×１０^{17}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}、４．０×１０^{16}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}）は、深さ２μｍ～２．５μｍにおける平均濃度である。

図４に示すように、実施例１の方が比較例１よりも深さ方向の広範囲でＮｉやＣｕを捕獲できていることが分かる。実施例１ではＣ濃度のピーク値は比較例よりも低い（また、Ｎｉ、Ｃｕ濃度のピーク値も低い）ものの、同程度の平均濃度レベルでＮｉやＣｕを捕獲できているのはそのためと考えられる。

[0070] なお、図４においてＣ濃度ピークの深さ位置とＮｉ、Ｃｕ濃度ピークの深さ位置とが若干ずれているが、これはシリコン基板とカーボンを含有するゲッタリングエピタキシャル膜との界面に、熱膨張係数の差による応力歪またはこれに伴う欠陥が発生した影響によるものと考えられる。

[0071] このように実施例１と比較例から分かるように、本発明のエピタキシャル

ウェーハの製造方法によって従来品と同程度、あるいはそれ以上のゲッタリング能力を備えたものを製造できる。しかも本発明は低コストで製造可能であるし、イオン注入装置を用いた場合に生じ得るクロスコンタミネーションを防ぐこともできる。

また、実施例１－４から分かるように、ゲッタリングエピタキシャル膜内の炭素原子濃度を必要に応じて様々に調整可能であり、ゲッタリング能力の調整を適宜行うことができる。

[0072] なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態は、例示であり、本発明の特許請求の範囲に記載された技術的思想と実質的に同一な構成を有し、同様な作用効果を奏するものは、いかなるものであっても本発明の技術的範囲に包含される。

請求の範囲

[請求項1] 減圧ＣＶＤ装置を用いて、シリコン基板上に、シリコン及びカーボンを含有するゲッタリングエピタキシャル膜を減圧下にて形成し、該ゲッタリングエピタキシャル膜の上に、シリコンエピタキシャル膜を形成することを特徴とするエピタキシャルウェーハの製造方法。

[請求項2] 前記ゲッタリングエピタキシャル膜を形成するとき、１３３Ｐａ～１０６６６Ｐａの圧力下にて形成することを特徴とする請求項１に記載のエピタキシャルウェーハの製造方法。

[請求項3] 前記ゲッタリングエピタキシャル膜を形成するとき、６６７Ｐａ～２６６６Ｐａの圧力下にて形成することを特徴とする請求項１または請求項２に記載のエピタキシャルウェーハの製造方法。

[請求項4] 前記ゲッタリングエピタキシャル膜を形成するとき、膜厚を０．０２５μｍ～１μｍとすることを特徴とする請求項１から請求項３のいずれか一項に記載のエピタキシャルウェーハの製造方法。

[請求項5] 前記ゲッタリングエピタキシャル膜を形成するとき、膜厚を０．０２５μｍ～０．３μｍとすることを特徴とする請求項１から請求項４のいずれか一項に記載のエピタキシャルウェーハの製造方法。

[請求項6] 前記ゲッタリングエピタキシャル膜を形成するとき、炭素原子濃度を１．０×10^{17}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、５．０×10^{21}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下とすることを特徴とする請求項１から請求項５のいずれか一項に記載のエピタキシャルウェーハの製造方法。

[請求項7] 前記ゲッタリングエピタキシャル膜を形成するとき、炭素原子濃度を１．０×10^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、１．０×10^{21}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下とすることを特徴とする請求項１から請求項６のいずれか一項に記載のエピタキシャルウェーハの製造方法。

[請求項8] 前記ゲッタリングエピタキシャル膜を形成するとき、炭素原子濃度を１．０×10^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、５．０×10^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下とすることを特徴とする請求項１から請求項７のいず

れか一項に記載のエピタキシャルウェーハの製造方法。

[請求項9] 前記ゲッタリングエピタキシャル膜を形成するとき、シリコン及びカーボンを含有する混合ガス雰囲気下、５５０℃～１１５０℃にて形成することを特徴とする請求項１から請求項８のいずれか一項に記載のエピタキシャルウェーハの製造方法。

[請求項10] 前記ゲッタリングエピタキシャル膜を形成するとき、シリコン及びカーボンを含有する混合ガス雰囲気下、５５０℃～８００℃にて形成することを特徴とする請求項１から請求項９のいずれか一項に記載のエピタキシャルウェーハの製造方法。

[請求項11] 前記シリコン及びカーボンを含有する混合ガス雰囲気のシリコンソースとして、SiH_4、SiH_2Cl_2、$SiHCl_3$のうち少なくとも一つを用いることを特徴とする請求項９または請求項１０に記載のエピタキシャルウェーハの製造方法。

[請求項12] 前記シリコン及びカーボンを含有する混合ガス雰囲気のカーボンソースとして、$SiH_3(CH_3)$、$SiH_2(CH_3)_2$、$SiH(CH_3)_3$、CH_4、C_2H_6、C_3H_8のうち少なくとも一つを用いることを特徴とする請求項９から請求項１１のいずれか一項に記載のエピタキシャルウェーハの製造方法。

[請求項13] シリコン基板と、該シリコン基板上のカーボンが均一にガスドープされたシリコンからなるゲッタリングエピタキシャル膜と、該ゲッタリングエピタキシャル膜上のシリコンエピタキシャル膜とを有することを特徴とするエピタキシャルウェーハ。

[請求項14] 前記ゲッタリングエピタキシャル膜は、膜厚が０．０２５μｍ～１μｍであることを特徴とする請求項１３に記載のエピタキシャルウェーハ。

[請求項15] 前記ゲッタリングエピタキシャル膜は、膜厚が０．０２５μｍ～０．３μｍであることを特徴とする請求項１３または請求項１４に記載のエピタキシャルウェーハ。

[請求項16] 前記ゲッタリングエピタキシャル膜は、炭素原子濃度が１．０×１０^{17}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、５．０×１０^{21}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であることを特徴とする請求項１３から請求項１５のいずれか一項に記載のエピタキシャルウェーハ。

[請求項17] 前記ゲッタリングエピタキシャル膜は、炭素原子濃度が１．０×１０^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、１．０×１０^{21}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であることを特徴とする請求項１３から請求項１６のいずれか一項に記載のエピタキシャルウェーハ。

[請求項18] 前記ゲッタリングエピタキシャル膜は、炭素原子濃度が１．０×１０^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、５．０×１０^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であることを特徴とする請求項１３から請求項１７のいずれか一項に記載のエピタキシャルウェーハ。

[請求項19] シリコン基板と、該シリコン基板上のカーボンが均一にガスドープされたシリコンからなるゲッタリングエピタキシャル膜とを有し、

該ゲッタリングエピタキシャル膜が絶縁性と高周波特性を有することを特徴とするエピタキシャルウェーハ。

[請求項20] 前記ゲッタリングエピタキシャル膜上にシリコンエピタキシャル膜をさらに有することを特徴とする請求項１９に記載のエピタキシャルウェーハ。

[請求項21] 前記ゲッタリングエピタキシャル膜は、炭素原子濃度が１．０×１０^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、５．０×１０^{21}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であることを特徴とする請求項１９または請求項２０に記載のエピタキシャルウェーハ。

[請求項22] 前記ゲッタリングエピタキシャル膜は、炭素原子濃度が３．０×１０^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、１．０×１０^{21}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であることを特徴とする請求項１９から請求項２１のいずれか一項に記載のエピタキシャルウェーハ。

[請求項23] 前記ゲッタリングエピタキシャル膜は、膜厚が０．０２５μｍ～３

μｍであることを特徴とする請求項１９から請求項２２のいずれか一項に記載のエピタキシャルウェーハ。

[請求項24] 前記ゲッタリングエピタキシャル膜は、膜厚が０．０２５μｍ～１μｍであることを特徴とする請求項１９から請求項２３のいずれか一項に記載のエピタキシャルウェーハ。

[請求項25] 前記ゲッタリングエピタキシャル膜は、前記カーボンがシリコン置換位置にドープされていることを特徴とする請求項１９から請求項２４のいずれか一項に記載のエピタキシャルウェーハ。