明　細　書

発明の名称 ：

エピタキシャルシリコンウェーハおよびその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、エピタキシャルシリコンウェーハおよびその製造方法に関し、さらに詳しくは、低温デバイスプロセスに適したエピタキシャルシリコンウェーハおよびその製造方法に関する。

背景技術

[0002] 半導体デバイスの製造工程において、Ｆｅ（鉄）、Ｎｉ（ニッケル）等の重金属の汚染に起因した特性劣化を回避するために、ゲッタリングの技術が用いられている。ゲッタリングは、半導体基板中のゲッタリングサイトに、重金属の原子を取り込み、デバイス活性領域となる半導体基板表面近傍の重金属濃度を低く抑える技術である。ゲッタリングサイトとしては、半導体基板中に含まれる酸素析出核が成長したＢＭＤ（Ｂｕｌｋ Ｍｉｃｒｏ Ｄｅｆｅｃｔ）が利用される。ＢＭＤは、半導体デバイスの製造プロセス（デバイスプロセス）において、半導体基板が加熱されるプロセス（熱プロセス）で成長する。

[0003] しかし、近年、半導体デバイスのパターンの微細化が進んでおり、そのようなパターンの微細化に伴って、半導体デバイスを製造する際の熱プロセスが低温化している。たとえば、１０００℃以下の熱プロセスが採用されることがある。このような低温の熱プロセスにおいては、析出核の成長は望めず、その半導体基板のゲッタリング能力は低くなる。

[0004] この問題を解消するために、窒素や炭素をドープした半導体基板が用いられることがある。半導体基板に窒素や炭素をドープすることにより、低温の熱プロセスでも、析出核が成長しやすくなる。このような半導体基板は、窒素や炭素を添加したシリコン融液から育成されたシリコン単結晶から切り出して得ることができる。

[0005] 半導体基板の表面にエピタキシャル層を形成する場合は、エピタキシャル層の形成プロセスが高温であるため、窒素や炭素をドープしていない場合には、半導体基板中の酸素析出核が消失し、デバイスプロセスでは、ＢＭＤが形成されない。これに対して、半導体基板に、窒素や炭素をドープしている場合は、エピタキシャル層の形成プロセス、およびデバイスプロセスで、ＢＭＤが成長する。

[0006] しかし、この方法では、シリコン単結晶引き上げ時の偏析により、シリコン単結晶の上部と下部との間で、窒素や炭素の濃度が大幅に異なり、これに伴って、酸素析出物の密度も大幅に異なるようになる。このため、１本のシリコン単結晶のうち、適切な密度やサイズのＢＭＤが得られる部分が、極めて少なくなる。

[0007] デバイスプロセスにおいて、ゲッタリングサイトとなり得る酸素析出物（ＢＭＤ）を安定して成長させるための他の方法として、窒素や炭素をドープする代わりに、高酸素濃度の半導体基板（ウェーハ）を用意し、エピタキシャル層の形成前にプレアニールして、この半導体基板に酸素析出物を形成する方法が提案されている。

[0008] たとえば、下記特許文献１には、１８×１０^{17}～２１×１０^{17}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}の酸素濃度を有するシリコン単結晶から、ウェーハを切り出し、このウェーハに対して、７５０～８５０℃の温度で２０分以上５０分以下の熱処理（プレアニール）を行い、このウェーハに対してエピタキシャル成長を行う、エピタキシャルウェーハの製造方法が開示されている。この方法によってウェーハに形成される酸素析出核は、エピタキシャル層の形成時に消失しない。このウェーハにおいて、たとえば、エピタキシャル層直下の約１０μｍの厚さの領域に、高密度の酸素析出核が形成されデバイスプロセスで成長する。

[0009] しかし、このような方法では、プレアニールの工程が必須とされるので、その分、製造コストが増大する。

[0010] ところで、エピタキシャル層は、ダイオードやトランジスタ等が形成され

るデバイス活性領域として利用されるので、この領域に転位が生じると、デバイスの電気的特性の劣化（たとえば、リーク不良）が生ずることがあり、この場合、デバイスの歩留まりが悪化する。下記特許文献１に記載されているようにエピタキシャル層の直下に高密度の酸素析出物が存在する場合、その酸素析出物に起因して転位が生じると、デバイス活性領域となるエピタキシャル層に容易に達してエピタキシャル欠陥となり、デバイスの電気的特性を劣化させる。また、大きなサイズのＢＭＤが成長すると、ウェーハの強度が低下する。

[0011] 上述のエピタキシャル欠陥の問題を回避する方法として、下記特許文献２および３には、ウェーハを高温で溶体化処理して、酸素析出核を消失させて、デバイスプロセスでのＢＭＤの形成を抑制する技術が開示されている。

[0012] しかし、下記特許文献２および３の方法は、ゲッタリング能力を失わせても、ＢＭＤ量を低減して、エピタキシャル欠陥が導入されないようにしようとするものである。したがって、重金属汚染が生じうるデバイスプロセスでは、これらの方法により製造されたウェーハは使用できない。

先行技術文献

特許文献

[0013] 特許文献1：特開２０１１－０５４８２１号公報

特許文献2：特開２０１０－２２８９３１号公報

特許文献3：特開２０１０－２２８９２４号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0014] そこで、本発明の目的は、半導体デバイスの製造プロセスにおける熱プロセスが低温熱プロセスであっても、十分なゲッタリング能力が得られるとともに、エピタキシャル欠陥が生じないエピタキシャルシリコンウェーハを提供することである。

本発明の他の目的は、半導体デバイスの製造プロセスにおける熱プロセス

が低温熱プロセスであっても、十分なゲッタリング能力が得られるとともに、エピタキシャル欠陥が生じないエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0015] 本発明は、下記（１）および（２）のエピタキシャルシリコンウェーハ、ならびに下記（３）および（４）のエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法を要旨とする。

（１）チョクラルスキー法により育成されたシリコン単結晶から切り出され、直径が３００ｍｍ以上で、表面にエピタキシャル層が形成されたエピタキシャルシリコンウェーハであって、

育成時に前記シリコン単結晶の各部を８００℃から６００℃まで降温させる所要時間を４５０分以下とされたものであり、

格子間酸素濃度が、１．５×１０^{18}～２．２×１０^{18}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}（ｏｌｄ　ＡＳＴＭ）であり、

窒素濃度が、１×１０^{13}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であり、

炭素濃度が、１×１０^{16}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であり、

前記切り出されたシリコンウェーハの全面が、ＣＯＰ領域からなり、

前記エピタキシャルウェーハのバルク部のＢＭＤ密度が、１０００℃×１６時間の熱処理後に、１×１０^{4}／ｃｍ^{2}以下である、エピタキシャルシリコンウェーハ。

（２）上記（１）に記載のエピタキシャルシリコンウェーハであって、

１０００℃以下で熱処理し、その後、最高到達温度が１２００℃のフラッシュランプアニールによる熱応力負荷試験を行った後、ライトエッチングを行っても転位エッチピットが発生しない、エピタキシャルシリコンウェーハ。

（３）上記（１）に記載のエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法であって、

チョクラルスキー法により、シリコン単結晶を育成する工程であって、当

該シリコン単結晶各部の８００℃から６００℃まで降温させる所要時間を４５０分以下とする工程と、

前記シリコン単結晶外周部のＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域を除去する工程と、

ＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域を除去した前記シリコン単結晶から、直径が３００ｍｍ以上のシリコンウェーハを切り出す工程と、

前記シリコンウェーハの表面にエピタキシャル層を形成する工程とを含み、

前記シリコン単結晶を育成する工程は、当該シリコン単結晶の中心軸から少なくとも半径１５０ｍｍ内の領域がＣＯＰ領域のみになるようにして、シリコン単結晶の育成を行う工程を含み、

前記ＯＳＦ－ｒｉｎｇを除去する工程は、シリコン単結晶の径方向に関してＣＯＰ領域のみが残るように、ＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域を除去する工程を含む、エピタキシャルシリコンウェーハの製造方法。

（４）上記（３）に記載のエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法であって、

前記エピタキシャル層を形成する工程は、酸素析出核を減少させるように、当該シリコンウェーハを加熱する工程を含む、エピタキシャルシリコンウェーハの製造方法。

発明の効果

[0016] 本エピタキシャルシリコンウェーハは、１０００℃以下のデバイス熱プロセスで使用すると、エピタキシャル欠陥の発生やウェーハの強度に影響を及ぼすサイズの酸素析出物は成長しないが、十分なゲッタリング能力が得られる数（密度）の微小な酸素析出物が形成される。

発明を実施するための形態

[0017] 上述のように、本発明のエピタキシャルシリコンウェーハは、チョクラルスキー法により育成されたシリコン単結晶から切り出され、直径が３００ｍｍ以上で、表面にエピタキシャル層が形成されたエピタキシャルシリコンウェーハであって、育成時に前記シリコン単結晶の各部を８００℃から６００

℃まで降温させる所要時間を４５０分以下とされたものであり、格子間酸素濃度が、１．５×１０^{18}～２．２×１０^{18}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}（ｏｌｄ　ＡＳＴＭ）であり、窒素濃度が、１×１０^{13}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であり、炭素濃度が、１×１０^{16}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であり、前記切り出されたシリコンウェーハの全面が、ＣＯＰ領域からなり、前記エピタキシャルウェーハのバルク部のＢＭＤ密度が１０００℃×１６時間の熱処理後に、１×１０^{4}／ｃｍ^{2}以下である。

[0018] このエピタキシャルシリコンウェーハでは、１０００℃×１６時間の熱処理後のバルク部のＢＭＤ密度が１×１０^{4}／ｃｍ^{2}以下であり、このシリコンウェーハには、実質的に酸素析出核は存在していない。したがって、デバイスプロセスにおいても、デバイスプロセス初期からＢＭＤが成長することはない。このシリコンウェーハを用いて、１０００℃以下のデバイス熱プロセスを実施すると、格子間酸素に起因する酸素析出核による核形成が生じる。しかし、この酸素析出核は、エピタキシャル欠陥の発生やウェーハの強度に影響を及ぼすサイズには成長しない。

[0019] また、ゲッタリング能力は、酸素析出物のサイズが小さくても、酸素析出物の密度が高ければ、確保することができる。酸素析出物は、格子間酸素から、加熱（たとえば、６００～８００℃）により、酸素の過飽和度に応じて形成される。このエピタキシャルシリコンウェーハは、１．５×１０^{18}～２．２×１０^{18}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}（ｏｌｄ　ＡＳＴＭ）の格子間酸素濃度を有する。この濃度範囲の格子間酸素からは、１０００℃以下の熱プロセスでも、ゲッタリングに十分な密度の酸素析出物が形成される。後述のように、エピタキシャルシリコンウェーハが、この範囲より低い格子間酸素濃度を有する場合、十分なゲッタリング能力が得られない。一方、この範囲を超える濃度の酸素のすべてを、エピタキシャル層を形成するプロセスで溶体化することはできず、この場合、デバイスプロセス初期からＢＭＤが成長して、エピタキシャル欠陥の発生やウェーハの強度に影響を及ぼす可能性がある。格子間酸素濃度は、１．５×１０^{18}～１．９×１０^{18}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}（ｏｌｄ

ＡＳＴＭ）であることが好ましい。

[0020] このようなサイズおよび密度の酸素析出物が得られるのは、主として、本発明において、シリコン単結晶から切り出した（エピタキシャル層を形成する前の）ウェーハの全面がＣＯＰ（Ｃｒｙｓｔａｌ Ｏｒｉｇｉｎａｔｅｄ Ｐａｒｔｉｃｌｅ）領域（Ｖｏｉｄ欠陥領域）のみであり、かつ、育成時のシリコン単結晶各部の８００℃から６００℃まで降温させる所要時間が４５０分以下であることによる。

[0021] 育成直後（ａｓ ｇｒｏｗｎ）のシリコン単結晶の外周部には、ＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域が存在する。ＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域は、ＯＳＦ（Ｏｘｉｄａｔｉｏｎ Ｉｎｄｕｃｅｄ Ｓｔａｃｋｉｎｇ Ｆａｕｌｔ）と称される欠陥を有する領域であって、結晶の中心軸（引き上げ軸）に垂直な断面において、中心の周りにリング状に存在する領域である。ＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域には、結晶育成時に形成された大きなサイズの酸素析出核が存在する。ウェーハがＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域を含むと、この領域にある酸素析出核は、エピタキシャル層形成時に高温にされても、消失せず、デバイスプロセスで、サイズの大きな析出物となる。

[0022] このシリコン単結晶から切り出したウェーハは、全面がＣＯＰ領域であり、ＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域を含まないので、このウェーハでは、酸素析出核を起源とした酸素析出物によってエピタキシャル欠陥が生じることはない。

[0023] また、ウェーハのＣＯＰ領域においても、そのウェーハが、「育成時のシリコン単結晶各部の８００℃から６００℃まで降温させる所要時間が４５０分以下である」との要件を満たさないシリコン単結晶から切り出されたものであれば、エピタキシャル層の形成時に消失しない酸素析出核が形成される。このような酸素析出核は、デバイスプロセスにおいてさらに成長し、エピタキシャル欠陥の発生や、ウェーハの強度の低下の原因となる。

[0024] シリコンウェーハ中には、主として、シリコン単結晶を製造する際に雰囲気から取り込まれる窒素および炭素が存在する。そのような（意図しては添加していない）窒素および炭素のウェーハ中の濃度は、通常、検出限界以下

であり、具体的には、それぞれ、１×１０^{13}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下、および１×１０^{16}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下である。このような濃度の窒素および炭素は、酸素析出核の形成に対して影響を及ぼさない。したがって、このエピタキシャルシリコンウェーハをデバイスプロセスで使用した場合、シリコンウェーハ内の窒素および炭素に起因する析出物によりエピタキシャル欠陥が生じることはない。

[0025] このエピタキシャルシリコンウェーハは、以下の方法により、製造することができる。すなわち、この製造方法は、

チョクラルスキー法により、シリコン単結晶を育成する工程であって、当該シリコン単結晶各部の８００℃から６００℃まで降温させる所要時間を４５０分以下とする工程と、

前記シリコン単結晶外周部のＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域を除去する工程と、

ＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域を除去した前記シリコン単結晶から、直径が３００ｍｍ以上のシリコンウェーハを切り出す工程と、

前記シリコンウェーハの表面にエピタキシャル層を形成する工程とを含む。

[0026] 前記シリコン単結晶を育成する工程では、当該シリコン単結晶の中心軸から少なくとも半径１５０ｍｍ内の領域がＣＯＰ領域のみになるようにして、シリコン単結晶の育成を行う。

[0027] 前記ＯＳＦ－ｒｉｎｇを除去する工程は、シリコン単結晶の径方向に関してＣＯＰ領域のみが残るように、ＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域を除去する。

[0028] シリコン単結晶の中心軸から少なくとも半径１５０ｍｍ内の領域をＣＯＰ領域のみにしてシリコン単結晶の育成するために、たとえば、引き上げ速度Ｖと引き上げ軸方向の結晶内温度勾配の平均値Ｇとの比Ｖ／Ｇを適当な大きさに調整する公知の方法を利用することができる。

[0029] このようなエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法によれば、窒素および炭素は、意図してシリコン単結晶にドープする必要はない。このため、シリコン単結晶を育成する工程において、シリコン融液を炭素や窒素が添加

されたものとする必要はないので、窒素および炭素の偏析による上述の問題が生ずることはなく、シリコン単結晶の全体にわたって、酸素析出物の密度を均一にすることができる。

[0030] ＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域の除去は、たとえば、シリコン単結晶を円筒研削することにより行うことができる。

[0031] エピタキシャル層を形成する工程において、エピタキシャル層を、厚さが１μｍ以上になるように成長させることが好ましい。シリコン単結晶から切り出されたシリコンウェーハは、全面がＣＯＰ領域である。ＣＯＰ領域には、ポリッシュ後においても、通常、表面に微小な凹所が形成されているが、エピタキシャル層の厚さが１μｍ以上あれば、エピタキシャル層の表面には、このような凹所を反映した段差は生じにくい。

[0032] この製造方法において、前記エピタキシャル層を形成する工程では、酸素析出核を減少させるように、当該シリコンウェーハを加熱することが好ましい。

[0033] この場合、シリコン単結晶から切り出したウェーハに、酸素析出核が含まれていたとしても、このような酸素析出核を、エピタキシャル層を形成する工程での加熱により、溶体化させて、減少（消失）させることができる。このためには、エピタキシャル層は、１０００℃～１１７５℃の温度で形成することが好ましい。溶体化した酸素は、上述のように、デバイスプロセスでシリコンウェーハが加熱されると、微小な酸素析出核を再形成する。

[0034] このような方法によれば、上記特許文献１の方法で必要とされるプレアニール、すなわち、エピタキシャル層を形成する際の加熱とは別工程の加熱を必要としないので、コストを低減できる。

実施例

[0035] （実施例１）

表１に示すエピタキシャルシリコンウェーハのサンプルを作製した。これらのサンプルは、いずれも、チョクラルスキー法により育成されたシリコン単結晶から切り出したウェーハに後述の処理をして得たものである。

[0036] [表1]

表1

サンプル番号	800～600℃滞在時間(分)	格子間酸素濃度 ($\times 10^{18}$ atoms/cm^3)	窒素濃度 ($\times 10^{13}$ atoms/cm^3)	炭素濃度 ($\times 10^{16}$ atoms/cm^3)	熱応力負荷試験	ゲッタリング能力	
1	325	1.35＊	ドープなし	<1.0	○	×	比較例
2	325	1.52	ドープなし	<1.0	○	○	本発明例
3	440	1.82	ドープなし	<1.0	○	○	本発明例
4	440	2.15	ドープなし	<1.0	○	○	本発明例
5	459＊	1.58	ドープなし	<1.0	×	○	比較例
6	468＊	2.08	ドープなし	<1.0	×	○	比較例
7	325	1.35＊	1.2＊	<1.0	○	×	比較例
8	325	1.64	1.5＊	<1.0	×	○	比較例
9	424	1.51	0.8	<1.0	○	○	本発明例
10	424	2.16	0.3	<1.0	○	○	本発明例
11	440	1.81	ドープなし	1.4＊	×	○	比較例
12	440	2.07	ドープなし	9.4＊	×	○	比較例

注）「＊」印は、本発明で規定する範囲から外れることを示す。

[0037] 表１において、「800～600℃滞在時間」は、「シリコン単結晶の育成時に、当該シリコン単結晶の各部を８００℃から６００℃まで降温させる所要時間」を意味する。この所要（滞在）時間は、シリコン単結晶育成時に、シリコン単結晶の周囲に配置され保温効果を有するカーボン製で円筒状の熱遮蔽体（カーボンパーツ）の大きさおよび形状を変更することにより、変更した。

[0038] ウェーハを切り出す前に、円筒研削により、シリコン単結晶の外周部を除去した。切り出したウェーハの直径は、いずれも約３００ｍｍとした。

[0039] 表１において、格子間酸素濃度、および炭素濃度は、ウェーハについて、ＦＴＩＲ（Ｆｏｕｒｉｅｒ　Ｔｒａｎｓｆｏｒｍ　Ｉｎｆｒａｒｅｄ）分光法により分析して得た値である。サンプル１～１０の炭素濃度について「<1.0」との記載は、当該サンプルの炭素濃度が、検出下限（１．０×10^{16}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^3）を下回っていることを示す。窒素濃度は、サンプル７～１０に関しては、シリコン単結晶を育成する際のシリコン融液にドープした窒素量から偏析計算により求めた値を示す。サンプル１～６、１１および１２に関しては、窒素を意図してドープすることはしておらず、これらのサンプルの窒素濃度は、検出下限である１×10^{13}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}を下回っていると考えられる。

[0040] 各ウェーハについて、ＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域が含まれているか否かを、以下の方法により調べた。すなわち、ウェーハを、ドライ（乾燥）O_2雰囲気中で、１１００℃で１６時間熱処理した後、ライト（Ｗｒｉｇｈｔ）エッチにより、ウェーハ表面の厚さ２μｍの部分を除去した後、ＯＳＦ欠陥の密度を測定した。その結果、いずれのウェーハについても、ＯＳＦ欠陥の密度は、１×10^2／ｃｍ^{2}未満であった。この結果は、これらのウェーハが、いずれも、ＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域を含まず、ウェーハの全面がＣＯＰ領域であることを示す。

[0041] その後、これらのウェーハ上に、１１００℃で、厚さが３μｍのエピタキシャル層を形成して、エピタキシャルシリコンウェーハを得た。

[0042] このエピタキシャルシリコンウェーハに対して、デバイスプロセスにおける低温熱プロセスを模擬して、以下の４回の昇降温（第１～第４ステップ）による熱処理をした。昇降温速度は、いずれも、５℃／分とした。

[0043] 第１ステップ：６５０℃で１００分保持

第２ステップ：９００℃で２０分保持

第３ステップ：８２５℃で３０分保持

第４ステップ：７２５℃で１００分保持

[0044] 得られたエピタキシャルシリコンウェーハ（以下、「サンプル」という。）に対して、熱応力負荷試験、およびゲッタリング能力の評価を行った。サンプル２～４、９および１０が、本発明例であり、サンプル１、５～８、１１および１２が、本発明の要件を満たさない比較例である。

[0045] 熱応力負荷試験として、サンプルに対して、フラッシュランプアニール熱処理炉を用いて、最高到達温度が１２００℃のミリ秒アニールを５回連続で実施した。その後、サンプル表面に対してライトエッチングを行い、サンプル表面の転位エッチピットの有無を目視にて確認した。表１の「熱応力負荷試験」の欄において、転位エッチピットが見られた（熱応力負荷試験の結果が良好ではなかった）ものを「×」で示し、転位エッチピットが見られなかった（熱応力負荷試験の結果が良好であった）ものを「○」で示す。転位エッチピットが見られたサンプルには、ウェーハに大きな反りが生じた。

[0046] ゲッタリング能力を評価するために、サンプルの裏面を、Ｎｉで1×10^{12}／cm^2の密度になるように故意に汚染させ、このサンプルに対して、９００℃で１０分、拡散のための熱処理（ｄｒｉｖｅ－ｉｎ熱処理）をした。その後、このサンプル表面の厚さ２μｍの部分を、ライトエッチにより除去した後、表面の微小な浅い凹所であるシャローピット（ｓｈａｌｌｏｗ　ｐｉｔ）の有無を確認した。

[0047] Ｎｉは、ゲッタリングサイト（酸素析出物）に取り込まれなかった場合は、シリコンと化合として、Ｎｉシリサイドを形成する。Ｎｉシリサイドは、ライトエッチにより溶解して、サンプル表面にシャローピットを形成するの

で、シャローピットが形成されたサンプルは、Ｎｉに対するゲッタリング能力が低かったと判断することができる。表１の「ゲッタリング能力」の欄において、シャローピットが確認された（ゲッタリング能力が低かった）ものを「×」で示し、シャローピットが確認されなかった（ゲッタリング能力が高かった）ものを「○」で示す。

[0048] サンプル１～４について、エピタキシャル層形成後に他の処理を行っていない（Ａｓ－Ｅｐｉ）状態のものを１０００℃×１６時間加熱した後でも、ＢＭＤは検出されなかった（検出下限は、１×１０^{4}／$ｃｍ^{2}$である）。エピタキシャル層形成後に他の処理を行っていない状態で酸素析出核が存在していれば、１０００℃×１６時間の加熱により酸素析出核は成長すると考えられるので、サンプル１～４には、酸素析出核は実質的に存在していなかったものと考えられる。これは、エピタキシャル層形成時の加熱により、シリコン単結晶育成時に形成された酸素析出核が溶体化したためであると考えられる。

[0049] サンプル１～４は、熱応力負荷試験の結果が良好であった。これらのサンプルを、ＴＥＭ（透過型電子顕微鏡）で観察したところ、サイズが１００ｎｍ以下の板状の酸素析出物が確認された。酸素析出物が、このように微小であることにより、転位の発生を生じなかったものと考えられる。また、このような微小な酸素析出物は、ウェーハの強度を劣化させることはない。

[0050] 一方、ゲッタリング能力は、サンプル２～３では高かったが、サンプル１では低かった。これは、格子間酸素濃度が、サンプル１では、サンプル２～４に比して少なかった（$１．５\times１０^{18}$ａｔｏｍｓ／$ｃｍ^{3}$未満）ことにより、Ｎｉのゲッターとして十分な密度の酸素析出物が形成されなかったことによるものと考えられる。サンプル２～４は、Ｎｉのゲッタリングに十分な濃度の酸素析出物を形成するという点で、これらのサンプルは、最適な酸素過飽和度を有するといえる。

[0051] サンプル５および６は、「シリコン単結晶の育成時に、当該シリコン単結晶の各部を８００℃から６００℃まで降温させる所要時間」が、他のサンプ

ルより長く、４５０分を越える。サンプル５および６は、ゲッタリング能力は高かったが、熱応力負荷試験の結果は良好ではなかった。

[0052] これらのサンプルについて、エピタキシャル層形成後に他の処理を行っていない状態のものを１０００℃×１６時間加熱すると、ＢＭＤは、２．５×10^5／ｃｍ^{2}の密度で検出された。６００～８００℃の温度域では、酸素析出核の形成および成長が促進されるので、これらのサンプルでは、結晶育成時に形成された酸素析出核が、エピタキシャル層形成時に、溶体化せずに、成長したために、１０００℃×１６時間加熱で、酸素析出核がさらに成長したものと考えられる。

[0053] サンプル７および８は、窒素を１×10^{13}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}より多くドープしたものである。格子間酸素濃度は、サンプル７では１．５×10^{18}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}未満であるのに対して、サンプル８では１．５×10^{18}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上である。

[0054] サンプル７では、熱応力負荷試験の結果は良好であったが、ゲッタリング能力は低かった。サンプル８では、ゲッタリング能力は高かったが、熱応力負荷試験の結果は良好ではなかった。これは、サンプル７に比して、サンプル８で、格子間酸素濃度が高いことにより、酸素析出物のサイズが大きくなったことによると考えられる。

[0055] サンプル９および１０は、窒素を、１×10^{13}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}より低い濃度でドープしたものであり、熱応力負荷試験の結果は良好であり、ゲッタリング能力は高かった。このレベルの窒素濃度であれば、酸素析出物のサイズ増大効果は顕著ではなく、スリップ転位は発生していないものと考えられる。

[0056] サンプル１１および１２は、炭素を、１×10^{16}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}より高い濃度でドープしたものであり、ゲッタリング能力は高かったが、熱応力負荷試験の結果は良好ではなかった。これらのサンプルについて、エピタキシャル層形成後に他の処理を行っていない状態のものを１０００℃×１６時間加熱しても、ＢＭＤは検出されなかった。したがって、エピタキシャル層形

成時に、酸素析出核は溶体化していると考えられる。

[0057] しかし、炭素のドープにより、低温熱プロセスにおいて、非常に安定なＢＭＤ核が極短時間で形成される。熱応力負荷試験時には、ウェーハの表面に近いほど高い圧縮応力が生じる。サンプル１１および１２で熱応力負荷試験の結果が良好ではなかったのは、低温熱プロセスで形成された非常に安定な酸素析出核が成長したもののうち、ウェーハの表面近くに存在するものに起因してスリップ転位が生じたためであると考えられる。

[0058] （実施例２）

表２に、ＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域を含まないサンプルと、ＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域を含むサンプルとについて、熱応力負荷試験の結果を示す。ＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域を含まないサンプルとして、表２に示す通り、実施例１で説明したサンプル３を採用した。

[0059] [表2]

表2

サンプル番号	800～600℃滞在時間(分)	格子間酸素濃度 ($\times 10^{18}$ atoms/cm^3)	窒素濃度 ($\times 10^{13}$ atoms/cm^3)	炭素濃度 ($\times 10^{16}$ atoms/cm^3)	OSF最大密度 (/cm^2)	熱応力負荷試験
3	440	1.82	ドープなし	<1.0	$<1\times10^2$	○
14	440	1.62	ドープなし	<1.0	2.50×10^2	×
15	440	1.95	ドープなし	<1.0	3.60×10^3	×
16	440	1.87	0.5	<1.0	7.30×10^3	×

[0060] サンプル１４～１６は、ウェーハに、ＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域が含まれており、この点において、本発明の要件を満たしていない。この点を除き、サンプル１４～１６の作製方法は、実施例１の場合と同様である。ＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域を含むか否かの確認は、実施例１の場合と同様とした。サンプル１４～１６には、ウェーハの外周から１０～３０ｍｍの領域に、ＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域が存在していた。これらのサンプルに対して、実施例１の場合と同様の熱応力負荷試験を行った。

[0061] サンプル１４～１６は、「育成時のシリコン単結晶各部の８００℃から６００℃まで降温させる所要時間」、格子間酸素濃度、窒素濃度、および炭素濃度に関しては、本発明の要件を満たす。

[0062] サンプル３は、上述（実施例１）のように、ＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域を含ま

ず、熱応力負荷試験の結果は良好であった。これに対して、サンプル１４～１６では、熱応力負荷試験により、ＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域に、酸素析出物起因のスリップ転位によるものと考えられる転位エッチピットが発生した。

[0063] 実施例１の結果と対比すると、サンプル１４～１６は、格子間酸素濃度（酸素過飽和度）については最適化されているといえる。しかし、そのようなサンプルでも、ＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域が存在すると、その領域で、スリップ転位が発生することがわかった。

産業上の利用可能性

[0064] このエピタキシャルシリコンウェーハは、１０００℃以下のデバイス熱プロセスで用いると、エピタキシャル欠陥の発生やウェーハの強度に影響を及ぼすサイズの酸素析出物は成長しないが、十分なゲッタリング能力が得られる密度の酸素析出物が形成される。したがって、このエピタキシャルシリコンウェーハは、低温デバイスプロセスで用いるのに適している。

請求の範囲

［請求項1］ チョクラルスキー法により育成されたシリコン単結晶から切り出され、直径が３００ｍｍ以上で、表面にエピタキシャル層が形成されたエピタキシャルシリコンウェーハであって、

育成時に前記シリコン単結晶の各部を８００℃から６００℃まで降温させる所要時間を、４５０分以下とされたものであり、

格子間酸素濃度が、１．５×10^{18}～２．２×10^{18}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}（ｏｌｄ　ＡＳＴＭ）であり、

窒素濃度が、１×10^{13}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であり、

炭素濃度が、１×10^{16}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であり、

前記切り出されたシリコンウェーハの全面が、ＣＯＰ領域からなり、

前記エピタキシャルウェーハのバルク部のＢＭＤ密度が、１０００℃×１６時間の熱処理後に、１×10^{4}／ｃｍ^{2}以下である、エピタキシャルシリコンウェーハ。

［請求項2］ 請求項１に記載のエピタキシャルシリコンウェーハであって、

１０００℃以下で熱処理し、その後、最高到達温度が１２００℃のフラッシュランプアニールによる熱応力負荷試験を行った後、ライトエッチングを行っても転位エッチピットが発生しない、エピタキシャルシリコンウェーハ。

［請求項3］ 請求項１に記載のエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法であって、

チョクラルスキー法により、シリコン単結晶を育成する工程であって、当該シリコン単結晶各部の８００℃から６００℃まで降温させる所要時間を４５０分以下とする工程と、

前記シリコン単結晶外周部のＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域を除去する工程と、

ＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域を除去した前記シリコン単結晶から、直径が

３００ｍｍ以上のシリコンウェーハを切り出す工程と、

前記シリコンウェーハの表面にエピタキシャル層を形成する工程とを含み、

前記シリコン単結晶を育成する工程は、当該シリコン単結晶の中心軸から少なくとも半径１５０ｍｍ内の領域がＣＯＰ領域のみになるようにして、シリコン単結晶の育成を行う工程を含み、

前記ＯＳＦ－ｒｉｎｇを除去する工程は、シリコン単結晶の径方向に関してＣＯＰ領域のみが残るように、ＯＳＦ－ｒｉｎｇ領域を除去する工程を含む、エピタキシャルシリコンウェーハの製造方法。

［請求項4］ 請求項３に記載のエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法であって、

前記エピタキシャル層を形成する工程は、酸素析出核を減少させるように、当該シリコンウェーハを加熱する工程を含む、エピタキシャルシリコンウェーハの製造方法。