

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2010 年 9 月 30 日(30.09.2010)



(10) 国際公開番号
WO 2010/109853 A1

- (51) 国際特許分類:
C30B 33/02 (2006.01) H01L 21/265 (2006.01)
C30B 29/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/002060
- (22) 国際出願日: 2010 年 3 月 24 日(24.03.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2009-074947 2009 年 3 月 25 日(25.03.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社 S U M C O (SUMCO CORPORATION) [JP/JP]; 〒1058634 東京都港区芝浦一丁目 2 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 小野敏昭 (ONO, Toshiaki) [JP/JP]; 〒1058634 東京都港区芝浦一丁目 2 番 1 号 株式会社 S U M C O 内

Tokyo (JP). 木原 誉之 (KIHARA, Takayuki) [JP/JP]; 〒1058634 東京都港区芝浦一丁目 2 番 1 号 株式会社 S U M C O 内 Tokyo (JP). 星野由美 (HOSHINO, Yumi) [JP/JP]; 〒1058634 東京都港区芝浦一丁目 2 番 1 号 株式会社 S U M C O 内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 志賀正武, 外 (SHIGA, Masatake et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目 9 番 2 号 Tokyo (JP).

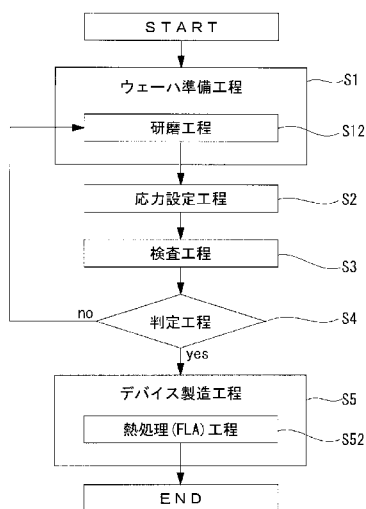
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: SILICON WAFER AND METHOD OF MANUFACTURING SAME

(54) 発明の名称: シリコンウェーハおよびその製造方法

[図1]



S1 WAFER PREPARATION PROCESS
S12 POLISHING PROCESS
S2 STRESS SETTING PROCESS
S3 INSPECTION PROCESS
S4 DETERMINATION PROCESS
S5 DEVICE MANUFACTURING PROCESS
S52 HEAT TREATMENT (FLA) PROCESS

(57) Abstract: A method of manufacturing a silicon wafer has a wafer preparation process for performing a surface treatment of a silicon wafer, a stress setting process for setting a stress to be imposed on the wafer, an inspection process for inspecting flaws on a wafer surface, and a determination process for determining if the wafer satisfies the criterion. By the method, it is possible to manufacture a wafer having the fracture resistance to even millisecond annealing performed in an FLA (Flash Lamp Annealing) process.

(57) 要約: このシリコンウェーハの製造方法は、シリコンウェーハの表面処理を行うウェーハ準備工程と、ウェーハにかかる応力を設定する応力設定工程と、ウェーハ面に存在する傷を検査する検査工程と、ウェーハが基準を満たすかどうかを判定する判定工程とを有するシリコンウェーハの製造方法であり、FLAアニール処理によるミリ秒アニールでも割れ耐性を有するウェーハの製造を可能にする。

WO 2010/109853 A1



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,

CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 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、シリコンウェーハおよびその製造方法に係り、特に、高い内部応力が発生する熱処理をほどこされるシリコンウェーハに用いて好適な技術に関する。

本願は、２００９年３月２５日に出願された日本国特許出願第２００９－０７４９４７号に対し優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] デバイスの高集積化によりデバイス製造プロセスにて急速昇降温工程が多用されてきており、短時間化、最高温度も高温化する傾向にある。特に４５nmノード（hp65）からはFLA（Flash Lamp Annealing）、LSA（Laser Spike Anneal）、LTP（Laser Thermal Process）と呼ばれるアニール工程が用いられる場合がある。

このうち、FLA熱処理ではウェーハを４００℃～６００℃の初期温度に昇温し、Xeランプ等の短波長の光を用いてウェーハ全面に光照射し、ウェーハ極表層のみを１１００℃以上シリコンの融点付近まで急速加熱した後に急冷する。熱処理時間はμ秒からミリ秒の単位（オーダー）である。

FLA処理に関する技術が以下の文献に開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献１：特表２００８－５１５２００号公報

特許文献２：特開２００８－９８６４０号公報

[0004] このような熱処理ではウェーハ表面と裏面に数百℃の温度差が生じ、以前からおこなわれてきたRTA（Rapid Thermal Annealing）に比べて非常に高い応力が負荷される。

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかし、このように高い応力が負荷されるため、上記FLAのようなミリ秒アニールにおいてウェーハが割れやすくなる問題が生じていた。しかも、特許文献2の段落[0042]に記載されるように、不純物の拡散を抑制するためにFLAより後の工程においては700℃以上の熱処理を行なわないなど、デバイス製造工程においては処理条件における制約が多いため、デバイス製造前のシリコンウェーハにおいてこの問題を解決したいという要求があった。

[0006] 本発明は、上記の事情に鑑みてなされたもので、上記FLAアニール処理によるミリ秒アニールでも割れ耐性を有するウェーハを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 発明者らは、FLA、LSAにおいては、処理温度（ピーク温度）が高く、極めて短時間の間に昇温・降温されるため、ウェーハにかかる応力が大きくなり、ウェーハに割れが発生するので、これに耐え得るウェーハを提供する手段を探求した。まず、RTA時に割れ防止の手段として採用してきたウェーハ中の酸素析出物によるスリップ伸長防止によって割れを防止することは、上記の熱処理における温度条件が過酷で厳しすぎるため、ほとんど無効であることがわかった。また、FLA、LSAにおいては、それぞれの熱処理による加熱の仕方によりウェーハ中における応力（stress）の発生状態が異なるため、これらの加熱手法に対応した割れ防止対策が必要であることがわかった。

そこで、このような条件の熱処理において、ウェーハに割れが生じないために、ウェーハ表面における傷（クラック）の有無と、割れ発生との関係を調べた。

[0008] その結果、後述する実施例のように、ウェーハ表面（裏面）に存在する傷（クラック）の大きさ、その位置、及びFLA熱処理条件に応じてウェーハ

表面（裏面）付近の内部に発生する応力の間に割れ発生に対する一定の関係があることを見出した。

[0009] 本発明のシリコンウェーハの製造方法は、シリコンウェーハの製造方法であって、

シリコン単結晶のインゴットをスライスし、そのスライスされたシリコンウェーハの表面処理を行うウェーハ準備工程と、

前記ウェーハ準備工程において準備した前記シリコンウェーハにかかる応力 S (MPa) を設定する応力設定工程と、

前記シリコンウェーハの表面または裏面に存在する傷を検査する検査工程と、

前記検査工程において検査したシリコンウェーハが、下記式 (A) の基準を満たすか否かを判定し、基準を満たすシリコンウェーハを合格、基準を満たさないシリコンウェーハを不合格とする判定工程と

$$\text{応力 } S \times \text{傷の大きさ } C \leq 3500 \text{ (MPa} \cdot \mu\text{m)} \cdots (A)$$

C : シリコンウェーハ表面または裏面に存在する傷の大きさ (μm) を備える。

本発明において、前記応力 S が熱処理に依存するとき、

前記シリコンウェーハの製造方法において、前記熱処理における処理条件は、処理温度を 1100°C 以上シリコンの融点以下とし、処理時間を $1\mu\text{秒}$ から 100m秒 程度までとしてもよい。

前記シリコンウェーハの製造方法において、前記検査工程においてあるシリコンウェーハの裏面における大きさ $2\mu\text{m}$ 以上のLPDが10個以下であることが判明したとき、前記判定工程においてそのシリコンウェーハが上記 (A) の基準を満たすと判定するしてもよい。

前記シリコンウェーハの製造方法において、前記判定工程において上記 (A) の基準を満たさないと判定されたシリコンウェーハを、前記ウェーハ準備工程において再度表面処理してもよい。

前記シリコンウェーハの製造方法において、前記シリコンウェーハの酸素

濃度 O_i を、 $5 \times 10^{17} \sim 20 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ (O I d - A S T M) に設定してもよい。

本発明のシリコンウェーハは、前記シリコンウェーハ製造方法により製造することができる。

本発明のシリコンウェーハは、鏡面加工され、最高温度が 1100°C 以上シリコンの融点以下で処理時間が $1 \mu\text{s}$ から 100m 秒程度までの条件の熱処理工程を有する半導体デバイスの製造プロセスに供されるシリコンウェーハであって、

前記熱処理によってシリコンウェーハの各点で生じる応力を S (MPa)、シリコンウェーハ裏面に存在する傷の大きさを C (μm) とするとき、下記式 (A)

$$\text{応力 } S \times \text{傷の大きさ } C \leq 3500 \text{ (MPa} \cdot \mu\text{m)} \cdots (A)$$

を満たすように前記傷の大きさを設定してもよい。

本発明において、シリコンウェーハ裏面における大きさ $2 \mu\text{m}$ 以上のLPDが10個以下であることがより好ましい。

本発明は、前記シリコンウェーハの酸素濃度 O_i が、 $5 \times 10^{17} \sim 20 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ (O I d - A S T M) の範囲内であってもよい。

また、本発明のシリコンウェーハの製造方法は、シリコンウェーハを鏡面加工した後に、最高温度が 1100°C 以上シリコンの融点以下で処理時間が $1 \mu\text{s}$ から 100m 秒程度までの条件とされる熱処理工程を有する半導体デバイスの製造プロセスに供されるシリコンウェーハの製造方法において、

前記熱処理によってシリコンウェーハの各点で生じる応力を S (MPa)、シリコンウェーハ裏面に存在する傷の大きさを C (μm) とするとき、下記式 (A)

$$\text{応力 } S \times \text{傷の大きさ } C \leq 3500 \text{ (MPa} \cdot \mu\text{m)} \cdots (A)$$

を満たすように前記傷の大きさを設定することができる。

また、本発明において、前記熱処理をおこなう際に、シリコンウェーハ裏面における大きさ $2 \mu\text{m}$ 以上のLPDが10個以下である手段を採用しても

よい。

[0010] 本発明のシリコンウェーハは、鏡面加工され、最高温度が 1100°C 以上シリコンの融点以下で処理時間が $1\mu\text{s}$ から 100m 秒程度までの条件の熱処理工程を有する半導体デバイスの製造プロセスに供されるシリコンウェーハであって、

前記熱処理によってシリコンウェーハの各点で生じる応力を S (MPa)、シリコンウェーハ裏面に存在する傷の大きさを C (μm) とするとき、下記式 (A)

$$\text{応力 } S \times \text{傷の大きさ } C \leq 3500 \text{ (MPa} \cdot \mu\text{m)} \cdots \text{(A)}$$

を満たすように前記傷の大きさが設定されることにより、RTAに比べて発生する応力が大きくなるFLA等の熱処理工程を有する半導体デバイスの製造プロセスにおいて割れ発生を防止可能なシリコンウェーハを提供可能とすることができる。

[0011] 45nm ノード (hp65) で、MOS FETのアニール工程としては、従前のRTAに比べて、より高温、短時間なアニールがおこなわれる。これは、図3に示すように、符号Mosで示すMOS FETのソースMs、ドレインMdに隣接し基板表面からの深さ (接合深さ) X_i が 20nm 程度と浅い不純物拡散領域である極浅接合Mexにおいて、図4に示すような箱形の不純物プロファイル、つまり、極浅接合Mex領域内における不純物濃度の均一性と境界での急峻な変化状態の実現が必要だからである。このように、高い加熱温度により打ち込んだ不純物を十分に活性化して抵抗を下げ、同時に、短い加熱時間により不純物の不必要な拡散を抑えるとともに活性化した不純物の失活 (deactivation) を避けるためである。

[0012] このように、 45nm ノード (hp65) で要求される 20nm を下回る接合深さ X_i を実現するために、ウェーハを $400^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ 以下の初期温度に昇温しておき、Xeフラッシュランプ等の短波長の光を用いてウェーハ全面に光照射しミリ秒単位の熱処理時間でウェーハ極表層のみを $900^{\circ}\text{C} \sim 1350^{\circ}\text{C}$ 程度まで急速加熱・急冷するFLAや、ウェーハをホットプレ

ート上で400℃～600℃の初期温度に昇温しておき、連続発振レーザを照射してウェーハをスポット走査することで、μ秒からミリ秒熱処理時間となるように1100℃以上シリコンの融点付近まで急速加熱した後急冷するLSAなどがおこなわれる。

FLA、LSAにおいては、図3においてMexで示す極浅接合領域の不純物濃度分布特性維持、接合リークの低減、ゲート・リークの抑制、ソース・ドレインの寄生抵抗の低減、ゲートの空乏化も抑制を実現可能な処理条件が選択される。

[0013] レーザ照射によりウェーハを局所的に加熱するLSAにおいては、局部加熱であることおよびレーザを走査することつまり加熱位置が移動することから、正確な内部応力の算出は困難である。しかし、ウェーハ全面を同時に加熱するFLAにおいては内部応力をこのように算出することが可能であり、上記のような条件のFLAにおいて、熱処理時にウェーハで発生する内部応力は、50～150MPaというレベルに達する。

しかし、LSAにおいて発生する温度差がウェーハ厚み方向に加えて照射するレーザスポットの周囲、つまりウェーハ面内方向にも発生するのに対し、ウェーハ面内方向で均一に加熱するFLAにおいて発生する温度差が主としてウェーハ厚み方向であるため、LSAに比べて、熱処理時にウェーハで発生する内部応力は、FLAの場合より小さくなると考えられる。

[0014] 従って、FLAにおいては、LSAとは異なる条件及び手段で割れ発生を防止することが必要である。

さらに、本願発明者らの知見として、LSAにおいては、縁部付近に存在するクラックの影響が割れ発生に対して大きな割合を占めやすく、すなわち、レーザ照射位置がウェーハ縁部付近になったときに割れが発生しやすい。一方で、FLAでは、ウェーハ中央部付近におけるクラックの存在が割れ発生に対して大きな影響を有することが分かった。

本願発明者らは、シリコンウェーハの製造工程において、このようなウェーハ割れ発生を防止する対策を見出した。

- [0015] 本発明においては、シリコンウェーハ裏面における大きさ $2\mu\text{m}$ 以上のLPDが10個以下であることにより、上述した式(A)の条件を満たすウェーハを製造することができる。これにより、シリコンウェーハを供する半導体デバイスの製造プロセスにおける前記FLAとされる急熱・急冷する熱処理工程に応じて要求される割れ発生防止が可能なウェーハ裏面状態を実現することが可能となる。
- [0016] 図9に示すように、 $2\mu\text{m}$ 以上のLPDが裏面で増大すると、コンフォーカル光学系によるレーザ顕微鏡又は暗視野顕微鏡で測定される傷(Crack)数が増大することが明らかである。グラフ中1点が1枚のウェーハ裏面のデータに対応する。つまり、LPDを測定することで、ウェーハ裏面に存在する傷の数を推定することが可能となる。この際、上述した割れ防止可能な条件を満たす傷存在条件(傷の大きさ及び位置等も含む)に対応して、このLPDを測定することで、割れ防止の条件に替えることが可能となる。
- [0017] コンフォーカル光学系によるレーザ顕微鏡又は暗視野顕微鏡とは、サンプル上にレーザ光を集束させて微小スポットで照射し、その反射光を受光器の全面に配置したピンホールに再び集束させ、ピンホールを通過した光量を検出するものであり、具体的には、レーザーテック株式会社製造のMagicssなどを採用することが可能である。
- [0018] 本発明では、前記シリコンウェーハの酸素濃度 O_i を、 $5 \times 10^{17} \sim 20 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ (OId-ASTM)の範囲内とすることが可能である。
- [0019] また、本発明のシリコンウェーハの製造方法は、シリコンウェーハを鏡面加工した後に、最高温度が 1100°C 以上シリコンの融点以下で処理時間が $1\mu\text{s}$ から 100ms 程度までの条件の熱処理工程を有する半導体デバイスの製造プロセスに供されるシリコンウェーハの製造方法において、
前記熱処理によってシリコンウェーハの各点で生じる応力を $S(\text{MPa})$ 、シリコンウェーハ裏面に存在する傷の大きさを $C(\mu\text{m})$ とすると、下記式(A)

応力 $S \times$ 傷の大きさ $C \leq 3500 \text{ (MPa} \cdot \mu\text{m)} \cdots (A)$

を満たすように前記傷の大きさを設定することにより、FLA処理で割れが発生しやすい状態として、加熱時に発生する応力が大きい部分、つまり、ウェーハ中央からウェーハ半径 R の $2/3$ 倍の範囲とされるウェーハ裏面中央部分のクラックに対して、このクラックが存在しても割れを防止すること、つまり、FLA処理をおこなうウェーハに対してこの処理における割れ耐性を有するウェーハを供給できる。

[0020] さらに、本願発明者らは、FLAプロセスで起こる割れに関して、耐性を持たせるためには、特に $2R/3$ 以内の傷導入を避ける必要があることが重要であり、このため、傷が導入される可能性のあるウェーハ加工プロセスでの搬送工程や熱処理工程等におけるウェーハのハンドリングにおいて、 $2R/3$ 以内の領域をハンドリングしない手段を採用することができる。さらに、シリコンウェーハ製造工程において、ウェーハ裏面の傷を除去することのできる両面鏡面研磨工程以降で、上述した応力増大部分、つまり、ウェーハ中心から半径の $2/3$ 以内の領域をハンドリングしないことで、FLA処理における割れ発生の危険性を低減できる。

[0021] また、本発明において、前記熱処理をおこなう際に、シリコンウェーハ裏面における大きさ $2 \mu\text{m}$ 以上のLPDが10個以下である手段を採用することにより、シリコンウェーハを供する半導体デバイスの製造プロセスにおける前記FLAとされる急熱・急冷熱処理工程に応じて要求される割れ発生防止が可能なウェーハ裏面状態を実現することが可能となる。

[0022] 本発明のシリコンウェーハの製造方法は、シリコンウェーハの製造方法であって、

シリコン単結晶のインゴットをスライスし、そのスライスされたシリコンウェーハの表面処理を行うウェーハ準備工程と、

前記ウェーハ準備工程において準備した前記シリコンウェーハにかかる応力 $S \text{ (MPa)}$ を設定する応力設定工程と、

前記シリコンウェーハの表面または裏面に存在する傷を検査する検査工程と

、

前記検査工程において検査したシリコンウェーハが、下記式（A）の基準を満たすか否かを判定し、基準を満たすシリコンウェーハを合格、基準を満たさないシリコンウェーハを不合格とする判定工程と

$$\text{応力 } S \times \text{傷の大きさ } C \leq 3500 \text{ (MPa} \cdot \mu\text{m)} \cdots \text{(A)}$$

C：シリコンウェーハ表面または裏面に存在する傷の大きさ（ μm ）

を有することにより、検査工程の結果から合格不合格を判定して、基準を満たさないウェーハを除去することにより、半導体デバイスの製造プロセスにおける前記FLA熱処理工程に応じて要求される割れ発生防止が可能なウェーハ裏面状態を有するシリコンウェーハを供することが可能となる。

これにより、ソース・ドレイン拡散領域への不純物打ち込み後のアニール処理において、打ち込んだ不純物を電氣的に活性化させるとともに、不純物の打ち込みによって発生した結晶欠陥を除去することの可能な熱処理をおこなっても、いわゆる矩形の不純物プロファイルに近い状態を実現可能な条件において、ウェーハの割れが発生することのないシリコンウェーハを製造することを可能とする。

[0023] さらに、前記応力Sが熱処理に依存するとき、前記熱処理における処理条件は、処理温度を 1100°C 以上シリコンの融点以下とし、処理時間を 1μ 秒から 100m 秒程度までとされることにより、上記の不純物の電氣的活性化および矩形の不純物プロファイルを維持した状態で、ウェーハ中央部に存在する傷に起因する割れの発生する可能性が高いFLAにおいても割れ発生を防止することが可能となる。

[0024] また、前記検査工程においてあるシリコンウェーハの裏面における大きさ $2\mu\text{m}$ 以上のLPDが10個以下であることが判明したとき、前記判定工程においてそのシリコンウェーハが上記（A）の基準を満たすと判定することで、上記の割れ防止可能なウェーハを判別することが可能となる。

[0025] 本発明においては、前記判定工程において、不合格としたシリコンウェーハを前記ウェーハ準備工程において再度表面処理することで、再度判定工程

で合格とすることが可能となる。またこの際、ウェーハ準備工程における再処理は裏面の研磨処理であることが好ましく、この研磨処理は、いわゆる仕上げ研磨であり、シリコンウェーハ裏面の研磨代を $1\ \mu\text{m}$ 以上 $3\ \mu\text{m}$ 以下とする研磨工程を有することにより、ウェーハ準備工程（シリコンウェーハ製造工程）中に傷が導入された場合であっても、この傷を除去して、その影響を排除し、FLA工程においてウェーハの割れ発生を防止することが可能となる。

[0026] 本発明においては、前記シリコンウェーハの酸素濃度 O_i を、 $5 \times 10^{17} \sim 20 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ （O I d - A S T M）の範囲内に設定することができる。

本発明のシリコンウェーハは、上記のシリコンウェーハの製造方法により製造することができる。

発明の効果

[0027] 本発明によれば、RTAに比べて極めて大きな応力の発生するFLA等の熱処理工程を有する半導体デバイスの製造プロセスにおいてウェーハ中央部からの割れ発生を防止できるシリコンウェーハを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0028] [図1]本発明に係るシリコンウェーハの製造方法の第1実施形態を示すフローチャートである。

[図2]本発明に係るシリコンウェーハの製造方法の第2実施形態を示すフローチャートである。

[図3]MOS FETを示す模式断面図である。

[図4]不純物濃度と接合深さとの関係において箱形の不純物プロファイルを示すグラフである。

[図5]アニールによるシリコン原子および不純物の振る舞いを示す模式図である。

[図6]本発明に係るシリコンウェーハの第1実施形態を示す平面図である。

[図7]FLA装置を示す模式図である。

[図8]本発明に係るシリコンウェーハの縁部を示す拡大断面図である。

[図9]裏面の傷の個数と大きさ $2\mu\text{m}$ 以上のLPD個数との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0029] 以下、本発明に係るシリコンウェーハおよびその製造方法の第1実施形態を、図面に基づいて説明する。

図1は、本実施形態におけるシリコンウェーハの製造方法を示すフローチャートである。

[0030] 本実施形態におけるシリコンウェーハの製造方法は、シリコンウェーハを鏡面加工した後に、最高温度が 1100°C 以上シリコンの融点以下で処理時間が $1\mu\text{s}$ から 100ms 程度までか、さらに $1\mu\text{s}$ から 10ms までの条件とされる急速昇温急冷熱処理工程を有する半導体デバイスの製造プロセスに供されるシリコンウェーハの製造方法であって、図1に示すように、研磨工程S12を有するウェーハ準備工程S1と、応力設定工程S2と、検査工程S3と、判定工程S4と、FLA等の熱処理工程S52を有するデバイス製造工程S5とを有する。

[0031] 図1に示すウェーハ準備工程S1は、CZ（チョクラルスキー）法により、シリコン融液からシリコン単結晶を引き上げ、このシリコン単結晶をスライス加工、および、面取り、研削、研磨、洗浄等の表面処理によりシリコンウェーハを準備する工程であり、その工程に、仕上げとしての研磨工程S12を有する。

このウェーハ準備工程S1の引き上げ時において、シリコンウェーハの酸素濃度 O_i を、 $5 \times 10^{17} \sim 20 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ （Old-ASTM）に設定する。

[0032] 図1に示す応力設定工程S2は、ウェーハ準備工程S1で準備したシリコンウェーハを供する後工程としての半導体デバイスの製造工程S5におけるFLA等の急速昇温冷却熱処理工程S52に応じてウェーハ表面層で発生する応力とこの応力に対応して要求されるウェーハ裏面表面状態を設定するも

ので、熱処理条件の具体的条件は、鏡面加工したシリコンウェーハが供される熱処理が、最高温度が 1100°C 以上シリコンの融点以下で処理時間が $1\mu\text{s}$ から 100ms 程度までの条件である急速昇温冷却熱処理工程S52とされ、この熱処理工程S52において、割れ発生を抑制可能なウェーハ裏面中央部の状態を設定する。このウェーハ裏面の状態は、具体的には、前記熱処理工程S52においてシリコンウェーハ割れ発生の原因となる $10\mu\text{m}$ 以上の傷が、図6に示すウェーハ中央部分Wcにおいて後述する条件によって排除されるものとされる。ウェーハ中央部分Wcは、図6に示すように、前記シリコンウェーハWの裏面Wrにおける中心最外周部Woからウェーハ径方向で外に向かう距離rの領域とされ、この距離rは、図6に符号Rで示すウェーハ半径寸法に対する比が $0\sim 2/3$ 以内となる範囲に設定される。

ここで、シリコンウェーハは径寸法が 300mm 以上 450mm 程度のものが適応可能である。

[0033] なお、本実施形態において、デバイス製造工程S5において、対象とする熱処理工程S52は、図3に示すソース・ドレイン拡散領域Mexへの不純物打ち込み後のアニール処理には打ち込んだ不純物を電氣的に活性化させることと、不純物の打ち込みによって発生した結晶欠陥を除去することとを同時に実現するという条件でおこなわれる。

電氣的に活性化させるとは、図5中の(a)に示すように、イオン打ち込みによって注入した不純物が通常Si結晶中にランダムに存在しているだけで電氣的に不活性な低電気伝導度となっている状態から、アニールによって熱エネルギーを与えることで、図5中の(b)に示すように、不純物が結晶格子点の位置に移動して電氣的に活性化されて電気伝導度が上がる状態になることをいう。

[0034] 不純物の打ち込みによって発生した結晶欠陥を除去するとは、図5中の(a)に示すように、不純物が打ち込まれたとき、もともと、Si原子が規則的に配列していた単結晶シリコンは、打ち込みのエネルギーによって原子の規則的配列が乱れた格子欠陥を有する状態から、アニールによって熱エネル

ギーを与えることで、図5中の(b)に示すように、シリコン原子が再配列しリーク電流を生じる原因となる結晶欠陥がない状態になることをいう。

前者の不純物の活性化は、不純物がS i の格子点に行き着くまでの原子間（格子間）をわずかに移動する程度と移動距離が短く、活性化にかかる時間も短くてすむが、ピーク温度が1000℃を超える高温が必要である。つまり、高温で時定数の小さなものである。

これに対し、後者のS i 単結晶整列は時定数の大きなものである。これは規則的な配列を崩された原子が再配列するまでに移動する距離は長く、また、再結晶化には長時間かかるので、結晶欠陥の除去には低温長時間のアニーリングが必要である。

[0035] このように、時定数の異なる現象を同時に制御するための熱処理である熱処理工程S 5 2は条件が厳しく、不純物活性化を優先して加熱条件を高温に設定した場合には、不純物拡散を最小限に抑えるために処理時間を短くする必要があるが、結果として、結晶欠陥の除去が充分でなく、MOS FET のリーク電流が多くなってしまう。一方、結晶欠陥除去を優先させて処理時間を長くした場合には、欠陥はリカバリーされ結晶性は回復するが、不純物拡散が激しくなり、短チャネル効果を引き起こしやすくなる。

つまり、熱処理工程S 5 2はこのような2つの相反する役割を同時に満たすとともに、高い不純物密度と浅い拡散深さをもつ極浅接合Me xを形成するために時定数の異なる2つの熱現象を制御することが求められるので、その条件では、従来のRTAに比べてウェーハ割れ発生頻度が極めて高くなり、この熱処理条件に対応するウェーハ状態の設定が必要となる。

[0036] さらに、ウェーハ応力設定工程S 2における裏面応力状態は、後述する実施例のように、処理温度（ピーク温度）が1100℃以上シリコンの融点以下、処理時間が1μ秒から100m秒程度までの処理条件に対応して、それぞれの場合にウェーハ表面から内部に供給される加熱エネルギーを単位面積当たり20～30 J/cm²、好ましくは、22～24～26 J/cm²とした場合に、このようなエネルギーの流入するウェーハ表面付近に発生する最

大応力 S (MPa) と、ウェーハ裏面中心部分に存在する傷の大きさ C (μm) との積の値 $S \times C$ が、

$$S \times C \leq 3500 \text{ (MPa} \cdot \mu\text{m)} \cdots (A)$$

を満たすように前記傷の大きさを設定する。

- [0037] つまり、直径 300 mm ウェーハにおいては、それぞれ後述するように、表 1 に対応して、加熱エネルギー（処理温度）が 20 J/cm^2 の場合、 $40 \sim 50 \mu\text{m}$ 程度の傷が中心から径方向への距離がウェーハ半径寸法に対して $10/300$ 以内の範囲にない状態、 $60 \sim 70 \mu\text{m}$ 程度の傷が中心から径方向への距離がウェーハ半径寸法に対して $120/300$ 以内の範囲にない状態、 $115 \sim 125 \mu\text{m}$ 程度の傷が中心から径方向への距離がウェーハ半径寸法に対して $120/300$ 以内の範囲にない状態、表 2 に対応して、加熱エネルギー（処理温度）が 22 J/cm^2 の場合、 $40 \sim 50 \mu\text{m}$ 程度の傷が中心から径方向への距離がウェーハ半径寸法に対して $100/300$ 以内の範囲にない状態、 $60 \sim 70 \mu\text{m}$ 程度の傷が中心から径方向への距離がウェーハ半径寸法に対して $120/300$ 以内の範囲にない状態、 $115 \sim 125 \mu\text{m}$ 程度の傷が中心から径方向への距離がウェーハ半径寸法に対して $120/300$ 以内の範囲にない状態、表 3 に対応して、加熱エネルギー（処理温度）が 24 J/cm^2 の場合、 $40 \sim 50 \mu\text{m}$ 程度の傷が中心から径方向への距離がウェーハ半径寸法に対して $120/300$ 以内の範囲にない状態、 $60 \sim 70 \mu\text{m}$ 程度の傷が中心から径方向への距離がウェーハ半径寸法に対して $120/300$ 以内の範囲にない状態、 $115 \sim 125 \mu\text{m}$ 程度の傷が中心から径方向への距離がウェーハ半径寸法に対して $120/300$ 以内の範囲にない状態、表 4 に対応して、加熱エネルギー（処理温度）が 26 J/cm^2 の場合、 $40 \sim 50 \mu\text{m}$ 程度の傷が中心から径方向への距離がウェーハ半径寸法に対して $120/300$ 以内の範囲にない状態、 $60 \sim 70 \mu\text{m}$ 程度の傷が中心から径方向への距離がウェーハ半径寸法に対して $120/300$ 以内の範囲にない状態、 $115 \sim 125 \mu\text{m}$ 程度の傷が中心から径方向への距離がウェーハ半径寸法に対して $130/300$ 以内の範囲に

ない状態、に設定される。

[0038] 加熱エネルギー（処理温度）が 20 J/cm^2 の場合は、ウェーハ表面温度そのものを測定すると 1050°C 程度と 1100°C よりも低くなる場合もあるが、発生する内部応力と傷の大きさおよび有無との関係そのものは、ウェーハ表面温度状態によらず上述したものと変化はないため、たとえ温度状態が低いものであっても発生する内部応力の最大値が 95 MPa より大きくなる熱処理条件は本願発明に含まれる。この発生する内部応力の最大値は、ウェーハ中央部分において発生すると見なすことができる。

また、発生する応力が圧縮応力の場合には、ウェーハ割れは起こらないため、ウェーハ縁部における応力設定はいずれも除外することができる。

[0039] 図 1 に示す検査工程 S 3 は、シリコンウェーハ端面および裏面に存在する傷を検査するもので、前記シリコンウェーハ裏面における中心からウェーハ径方向外側に向かう距離 r とウェーハ径寸法 R との比が $0 \sim 2/3$ 以内の範囲において、大きさ $2 \mu\text{m}$ 以上の LPD が 10 個以下であるかどうかを検査する。具体的には、レーザを用いた面検機（KLA-Tencor 製 SP-1 等）や CCD カメラによる画像検査法などの検査手法を用いることができる。

[0040] 図 1 に示す判定工程 S 4 は、検査工程 S 3 の結果が、前記シリコンウェーハ裏面における中心からウェーハ径方向で外側に向かう距離 r とウェーハ径寸法 R との比が $0 \sim 2/3$ 以内の範囲において、前述の（A）を満たす傷が排除されるとの基準を満たすウェーハを合格とし、上記の基準を満たさないウェーハを不合格として判定する。

[0041] 判定工程 S 4 で不合格とされた場合には、ウェーハ準備工程 S 1 の研磨工程 S 1 2 に戻り、ウェーハ裏面、端面の傷を上記の基準まで除去してリカバリすることで、再度、検査工程 S 3、判定工程 S 4 へと至る。

[0042] 判定工程 S 4 で合格と判定された場合には、シリコンウェーハはデバイス製造工程 S 5 へと供される。

このデバイス製造工程 S 5 では、 45 nm ノード（hp65）によるデバ

イスをシリコンウェーハに作り込むための必要な処理がおこなわれ、FLA等の熱処理工程S52を有する。

[0043] 図1に示す熱処理工程S52においては、図7に示す熱処理装置でフラッシュランプアニーリングをおこなう。このFLA装置は、マイクロ秒～ミリ秒オーダー照射で1350℃程度に昇温可能である。この熱処理装置は、キセノンフラッシュランプからの閃光によってシリコンウェーハ等の基板の熱処理を行う装置である。

[0044] この熱処理装置は、透光板61、底板62および一對の側板63、64からなり、その内部に半導体ウェーハ（シリコンウェーハ）Wを収納して熱処理するためのチャンバー65を備える。チャンバー65の上部を構成する透光板61は、例えば、石英等の赤外線透過性を有する材料から構成されており、光源5から出射された光を透過してチャンバー65内に導くチャンバー窓として機能している。また、チャンバー65を構成する底板62には、後述するサセプタ73および加熱プレート74を貫通して半導体ウェーハWをその下面から支持するための支持ピン70が立設されている。

[0045] また、チャンバー65を構成する側板64には、半導体ウェーハWの搬入および搬出を行うための開口部66が形成されている。開口部66は、軸67を中心に回転するゲートバルブ68により開閉可能となっている。半導体ウェーハWは、開口部66が解放された状態で、図示しない搬送ロボットによりチャンバー65内に搬入される。また、チャンバー65内にて半導体ウェーハWの熱処理が行われるときには、ゲートバルブ68により開口部66が閉鎖される。

[0046] チャンバー65は光源5の下方に設けられている。光源5は、複数（本実施形態においては27本）のキセノンフラッシュランプ69（以下、単に「フラッシュランプ69」とも称する）と、リフレクタ71とを備える。複数のフラッシュランプ69は、それぞれが長尺の円筒形状を有する棒状ランプであり、それぞれの長手方向が水平方向に沿うようにして互いに平行に列設されている。リフレクタ71は、複数のフラッシュランプ69の上方にそれ

らの全体を被うように配設されている。

[0047] このキセノンフラッシュランプ 6 9 は、その内部にキセノンガスが封入されその両端部にコンデンサーに接続された陽極および陰極が配設されたガラス管と、該ガラス管の外局部に巻回されたトリガー電極とを備える。キセノンガスは電氣的には絶縁体であることから、通常の状態ではガラス管内に電気は流れない。しかしながら、トリガー電極に高電圧を印加して絶縁を破壊した場合には、コンデンサーに蓄えられた電気がガラス管内に瞬時に流れ、そのときのジュール熱でキセノンガスが加熱されて光が放出される。このキセノンフラッシュランプ 6 9 においては、予め蓄えられていた静電エネルギーが 0.1 ミリセカンドないし 10 ミリセカンドという極めて短い光パルスに変換されることから、連続点灯の光源に比べて極めて強い光を照射し得るという特徴を有する。

[0048] 光源 5 と透光板 6 1 との間には、光拡散板 7 2 が配設されている。この光拡散板 7 2 は、赤外線透過材料としての石英ガラスの表面に光拡散加工を施したものが使用される。

[0049] フラッシュランプ 6 9 から放射された光の一部は直接に光拡散板 7 2 および透光板 6 1 を透過してチャンバー 6 5 内へと向かう。また、フラッシュランプ 6 9 から放射された光の他の一部は一旦リフレクタ 7 1 によって反射されてから光拡散板 7 2 および透光板 6 1 を透過してチャンバー 6 5 内へと向かう。

[0050] チャンバー 6 5 内には、加熱プレート 7 4 とサセプタ 7 3 とが設けられている。サセプタ 7 3 は加熱プレート 7 4 の上面に貼着されている。加熱プレート 7 4 およびサセプタ 7 3 によって、チャンバー 6 5 内にて半導体ウェーハ W を略水平姿勢にて保持する保持手段が構成されている。

[0051] 加熱プレート 7 4 は、半導体ウェーハ W を予備加熱（アシスト加熱）するためのものである。この加熱プレート 7 4 は、窒化アルミニウムにて構成され、その内部にヒータと該ヒータを制御するためのセンサとを収納した構成を有する。一方、サセプタ 7 3 は、半導体ウェーハ W を位置決めして保持す

るとともに、加熱プレート74からの熱エネルギーを拡散して半導体ウェーハWを均一に予備加熱する。このサセプタ73の材質としては、窒化アルミニウムや石英等の比較的熱伝導率が小さいものが採用される。サセプタ73の詳細についてはさらに後述する。

[0052] サセプタ73および加熱プレート74は、モータ40の駆動により、半導体ウェーハWの搬入・搬出位置と半導体ウェーハWの熱処理位置との間を昇降する構成となっている。

[0053] すなわち、加熱プレート74は、筒状体41を介して移動板42に連結されている。この移動板42は、チャンバー65の底板62に釣支されたガイド部材43により案内されて昇降可能となっている。また、ガイド部材43の下端部には、固定板44が固定されており、この固定板44の中央部にはボールネジ45を回転駆動するモータ40が配設されている。そして、このボールネジ45は、移動板42と連結部材46、47を介して連結されたナット48と螺合している。このため、サセプタ73および加熱プレート74は、モータ40の駆動により、半導体ウェーハWの搬入・搬出位置と半導体ウェーハWの熱処理位置との間を昇降することができる。

[0054] 半導体ウェーハWの搬入・搬出位置は、図示しない搬送ロボットを使用して開口部66から搬入した半導体ウェーハWを支持ピン70上に載置し、あるいは、支持ピン70上に載置された半導体ウェーハWを開口部66から搬出することができるように、サセプタ73および加熱プレート74が下降した位置である。この状態においては、支持ピン70の上端は、サセプタ73および加熱プレート74に形成された貫通孔を通過し、サセプタ73の表面より上方に突出する。

[0055] 一方、図に示す半導体ウェーハWの熱処理位置は、半導体ウェーハWに対して熱処理を行うために、サセプタ73および加熱プレート74が支持ピン70の上端より上方に上昇した位置である。サセプタ73および加熱プレート74が搬入・搬出位置から熱処理位置に上昇する過程において、支持ピン70に載置された半導体ウェーハWはサセプタ73によって受け取られ、そ

の下面をサセプタ 7 3 の表面に支持されて上昇し、チャンバー 6 5 内の透光板 6 1 に近接した位置に水平姿勢にて保持される。逆に、サセプタ 7 3 および加熱プレート 7 4 が熱処理位置から搬入・搬出位置に下降する過程においては、サセプタ 7 3 に支持された半導体ウェーハ W は支持ピン 7 0 に受け渡される。

[0056] 半導体ウェーハ W を支持するサセプタ 7 3 および加熱プレート 7 4 が熱処理位置に上昇した状態においては、それらに保持された半導体ウェーハ W と光源 5 との間に透光板 6 1 が位置する。このときのサセプタ 7 3 と光源 5 との間の距離についてはモータ 4 0 の回転量を制御することにより任意の値に調整することが可能である。

[0057] また、チャンバー 6 5 の底板 6 2 と移動板 4 2 との間には筒状体 4 1 の周囲を取り囲むようにしてチャンバー 6 5 を気密状態に維持するための伸縮自在の蛇腹 7 7 が配設されている。サセプタ 7 3 および加熱プレート 7 4 が熱処理位置まで上昇したときには蛇腹 7 7 が収縮し、サセプタ 7 3 および加熱プレート 7 4 が搬入・搬出位置まで下降したときには蛇腹 7 7 が伸長してチャンバー 6 5 内の雰囲気と外部雰囲気とを遮断する。

[0058] チャンバー 6 5 における開口部 6 6 と反対側の側板 6 3 には、開閉弁 8 0 に連通接続された導入路 7 8 が形成されている。この導入路 7 8 は、チャンバー 6 5 内に処理に必要なガス、例えば不活性な窒素ガスを導入する。一方、側板 6 4 における開口部 6 6 には、開閉弁 8 1 に連通接続された排出路 7 9 が形成されている。この排出路 7 9 は、チャンバー 6 5 内の気体を排出するためのものであり、開閉弁 8 1 を介して図示しない排気手段と接続されている。

[0059] 次に、この熱処理装置による F L A 熱処理動作について説明する。この熱処理装置において処理対象となる半導体ウェーハ W は、イオン注入後の半導体ウェーハである。

[0060] この熱処理装置においては、サセプタ 7 3 および加熱プレート 7 4 が半導体ウェーハ W の搬入・搬出位置に配置された状態にて、図示しない搬送ロボ

ットにより開口部 66 を介して半導体ウェーハ W が搬入され、支持ピン 70 上に載置される。半導体ウェーハ W の搬入が完了すれば、開口部 66 がゲートバルブ 68 により閉鎖される。その後、サセプタ 73 および加熱プレート 74 がモータ 40 の駆動により図 7 に示す半導体ウェーハ W の熱処理位置まで上昇し、半導体ウェーハ W を水平姿勢にて保持する。また、開閉弁 80 および開閉弁 81 を開いてチャンバー 65 内に窒素ガスの気流を形成する。

[0061] ここで、サセプタ 73 および加熱プレート 74 が上昇する過程において、支持ピン 70 に載置された半導体ウェーハ W をサセプタ 73 が受け取る。このときに、支持ピン 70 からサセプタ 73 に半導体ウェーハ W が移された後数秒間はサセプタ 73 と半導体ウェーハ W との間に薄い空気層が挟み込まれ、その空気層によって半導体ウェーハ W がサセプタ 73 から僅かに浮上した状態となる。このような状態においては、何らかの原因（例えば、微妙な傾斜）によって半導体ウェーハ W が凹部 97 内を滑るように移動し、ウェーハ端部がテーパ面 95 によって跳ね返されるという現象が数秒間繰り返される。その後、やがて上記空気層が抜けることによって、サセプタ 73 の凹部 97 内に半導体ウェーハ W が安定して保持される。すなわち、僅かに浮上している半導体ウェーハ W がテーパ面 95 によって位置決めされ、特別な位置決めピン等を設けなくても凹部 97 の最下位置つまり載置面 99 上に保持されるのである。載置面 99 の径は半導体ウェーハ W の径よりも若干大きく、通常載置面 99 上にて半導体ウェーハ W が偏心して位置決め・保持されるため、その周端部の一点がテーパ面 95 に接触した状態で安定して保持される。

[0062] サセプタ 73 および加熱プレート 74 は、加熱プレート 74 に内蔵されたヒータの作用により予め所定温度に加熱されている。このため、サセプタ 73 および加熱プレート 74 が半導体ウェーハ W の熱処理位置まで上昇した状態においては、半導体ウェーハ W が加熱状態にあるサセプタ 73 と接触することにより予備加熱され、半導体ウェーハ W の温度が次第に上昇する。

[0063] この状態においては、半導体ウェーハ W はサセプタ 73 により継続して加熱される。そして、半導体ウェーハ W の温度上昇時には、図示しない温度セ

ンサにより、半導体ウェーハWの表面温度が予備加熱温度T₁に到達したか否かを常に監視する。

[0064] この予備加熱温度T₁は、例えば200℃～600℃程度の温度である。半導体ウェーハWをこの程度の予備加熱温度T₁まで加熱したとしても、半導体ウェーハWに打ち込まれたイオンが拡散しない。

[0065] やがて、半導体ウェーハWの表面温度が予備加熱温度T₁に到達すると、フラッシュランプ69を点灯してフラッシュ加熱を行う。このフラッシュ加熱工程におけるフラッシュランプ69の点灯時間は、0.1ミリ秒ないし10ミリ秒程度の時間である。

このように、フラッシュランプ69においては、予め蓄えられていた静電エネルギーがこのように極めて短い光パルスに変換されることから、極めて強い閃光が照射される。

[0066] このようなフラッシュ加熱により、半導体ウェーハWの表面温度は瞬間的に温度T₂に到達する。この温度T₂は、1000℃～1100℃程度の半導体ウェーハWのイオン活性化処理に必要な温度である。半導体ウェーハWの表面がこのような処理温度T₂にまで昇温されることにより、半導体ウェーハW中に打ち込まれたイオンが活性化される。

[0067] このとき、半導体ウェーハWの表面温度が0.1ミリ秒ないし10ミリ秒程度の極めて短い時間で処理温度T₂まで昇温されることから、半導体ウェーハW中のイオン活性化は短時間で完了する。従って、半導体ウェーハWに打ち込まれたイオンが拡散することなく、半導体ウェーハWに打ち込まれたイオンのプロファイルがなまるという現象の発生を防止することが可能となる。イオン活性化に必要な時間はイオンの拡散に必要な時間に比較して極めて短いため、0.1ミリ秒ないし10ミリ秒程度の拡散が生じない短時間であってもイオン活性化は完了する。

[0068] また、フラッシュランプ69を点灯して半導体ウェーハWを加熱する前に、加熱プレート74を使用して半導体ウェーハWの表面温度を200℃ないし600℃程度の予備加熱温度T₁まで加熱していることから、フラッシュ

ランプ 6 9 により半導体ウェーハ W を 1 0 0 0 ° C ないし 1 1 0 0 ° C 程度の処理温度 T 2 まで速やかに昇温させることが可能となる。

[0069] フラッシュ加熱工程が終了した後に、サセプタ 7 3 および加熱プレート 7 4 がモータ 4 0 の駆動により図 7 に示す半導体ウェーハ W の搬入・搬出位置まで下降するとともに、ゲートバルブ 6 8 により閉鎖されていた開口部 6 6 が解放される。サセプタ 7 3 および加熱プレート 7 4 が下降することにより、サセプタ 7 3 から支持ピン 7 0 に半導体ウェーハ W が受け渡される。そして、支持ピン 7 0 上に載置された半導体ウェーハ W が図示しない搬送ロボットにより搬出される。以上のようにして、一連の熱処理動作が完了する。

[0070] 本実施形態におけるシリコンウェーハは、判定工程 S 4 によって、合格と判定されたもののみをデバイス製造工程 S 5 へ供することができるので、応力発生、あるいは、割れ発生のメカニズムは正確に解明されてはいないが、上記のような F L A 装置を用いた F L A 等とされる走査レーザ照射型熱処理工程 S 5 2 においても割れ発生を防止可能なシリコンウェーハを提供することができる。

これにより、高い加熱温度により打ち込んだ不純物を十分に活性化して抵抗を下げ、同時に、短い加熱時間により不純物の不必要な拡散を抑えとともに活性化した不純物の失活 (d e a c t i v a t i o n) を避け、図 4 に示すような箱形の不純物プロファイルを実現可能な熱処理においても割れの発生を抑制することができる。

[0071] 同時に、固溶酸素濃度 O i 、酸素析出物の大きさ・密度制御、添加物としての炭素濃度、窒素濃度、リンゲッターとしてのリン (P) 濃度の制御、など、従来スリップ転位の伸展を抑制・防止するためにおこなわれていた手法では対応ができないような F L A に相当する割れ発生の程度となる条件の厳しい熱処理に対して、割れ発生を防止するシリコンウェーハを供することが可能となる。

[0072] また、研磨工程 S 1 2 において、シリコンウェーハ裏面の研磨代を 1 μ m 以上 3 μ m 以下とすることにより、判定工程 S 4 で不合格と判定されたシリ

コンウェーハ、またはウェーハ準備工程 S 1 において傷が導入された場合であっても、この傷を除去して、その影響を排除し、L S A 工程においてウェーハの割れ発生を防止することが可能となる。

[0073] さらに、図 8 に示すように、ウェーハの表面 W_u には、平坦面である主面 W_{23} と、周縁部に形成された表面側面取り部 W_{24} とが設けられている。また、裏面 W_r には、平坦面である主面 W_{27} と、周縁部に形成された裏面側面取り部 W_{28} とが設けられている。表面側面取り部 W_{24} は、その周縁端 W_t からウェーハ半径方向内方に向けた方向の幅 A_1 が、裏面側面取り部 W_{28} の周縁端 W_t からウェーハ半径方向内方に向けた方向の幅 A_2 よりも狭められている。表面側面取り部 W_{24} の幅 A_1 は $50\ \mu\text{m}$ から $200\ \mu\text{m}$ の範囲が好ましい。また、裏面側面取り部 W_{28} の幅 A_2 は $200\ \mu\text{m}$ から $300\ \mu\text{m}$ の範囲が好ましい。

[0074] また、表面側面取り部 W_{24} は、表面 W_u の主面 W_{23} に対して傾斜する第一傾斜面 W_{11} を有しており、裏面側面取り部 W_{28} は、裏面 W_r の主面 W_{27} に対して傾斜する第二傾斜面 W_{12} を有している。第一傾斜面 W_{11} の傾斜角度 θ_1 は 10° から 50° の範囲が好ましく、第二傾斜面 W_{12} の傾斜角度 θ_2 は 10° から 30° の範囲が好ましく、更に $\theta_1 \leq \theta_2$ とされていることが好ましい。

また、第一傾斜面 W_{11} と周縁端 W_t との間には、これらを接続する第一曲面 W_{13} が表面最外周 W_{ut} に設けられている。また、第二傾斜面 W_{12} と周縁端 W_t との間には、これらを接続する第二曲面 W_{14} が裏面最外周部 W_{rt} に設けられている。第一曲面 W_{13} の曲率半径 R_1 の範囲は $80\ \mu\text{m}$ から $250\ \mu\text{m}$ の範囲が好ましく、第二曲面 W_{14} の曲率半径 R_2 の範囲は $100\ \mu\text{m}$ から $300\ \mu\text{m}$ の範囲が好ましい。

[0075] 上記の端部構成とすることで、ウェーハハンドリング時における傷発生を低減することが可能となる。本実施形態においては、F L A で主として割れ発生原因となるウェーハ中央部分の状態を設定することに加えて、このようなウェーハ周縁部において条件を設定することで、厳しい条件である F L A

においてさらなる割れ発生防止を可能とする。

[0076] 以下、本発明に係るシリコンウェーハおよびその製造方法の第2実施形態を、図面に基づいて説明する。

[0077] 図2は、本実施形態におけるシリコンウェーハの製造方法を示すフローチャートであり、図1に示す第1実施形態に対してエピタキシャル層成膜に関する点異なるものであり、同等の構成要素に対しては、同一の符号を付してその説明を省略する。

本実施形態においては、図2に示すように、ウェーハ準備工程S1に、エピタキシャル成膜工程S11およびその後の研磨工程S13を有する。

[0078] 図2に示すエピタキシャル成膜工程S11においては、ウェーハ表面にエピタキシャル層を成膜するものとされ、例えば、p/p-タイプとすることができる。これは、p-タイプウェーハの上にp-タイプのエピタキシャル層を積層したウェーハを意味する。ここで、ボロン(B)濃度がp-タイプとは抵抗率 $0.1 \sim 100 \Omega \text{cm}$ に相当する濃度であり、pタイプとは抵抗率 $0.1 \Omega \text{cm} \sim 100 \Omega \text{cm}$ に相当する濃度である。

[0079] 本実施形態におけるエピタキシャル成膜工程S11は、研磨工程S12の後に気相成長装置によっておこなわれ、この際にも、ハンドリング中の傷発生を防止することが重要である。

実施例

[0080] 以下本発明に係る実施例を説明する。

[0081] <実験例1>

酸素濃度 O_i が $6 \times 10^{17} \text{atoms/cm}^3$ (Old-ASTM) となるように引き上げられた直径300mmのシリコン単結晶インゴットから、スライス、両面研磨(DSP)によって、(100)ウェーハを準備した。

このシリコンウェーハの裏面に、ビッカース圧痕法に基づきダイヤモンド圧子を用いて異なる荷重で傷(Crack)となるビッカース圧痕をウェーハ1枚ごとに1カ所に導入した。

この傷の導入位置はウェーハ裏面で中心付近から裏面外縁部まで(～3m

m) でありその位置を距離として表 1～表 4 に示す。

[0082] 導入した傷（ビッカース圧痕）から発生した傷のサイズは光学顕微鏡にて測定し、その大きさを表 1 に示す。傷導入後にミリ秒アニール可能な F L A（F l a s h l a m p a n n e a l）炉を用いて、異なる X e ランプ照射エネルギー条件にてアニール処理しウェーハ割れ試験を実施した。初期ウェーハ温度は 5 0 0 °C である。結果を表 1～表 4 に示す。表中の加熱エネルギーは、各照射条件を光吸収計算ならびに有限要素計算して得られたウェーハ表層近くの最高到達温度に対応している。

[0083]

[表1]

表1

傷状態		FLA条件		割れ試験結果
傷導入位置 最外周からの距離(mm)	導入した傷の 大きさC(μ m)	加熱エネルギー (処理温度)	最大応力S Mpa	
0-10	45.5	20J/cm ²	-76.4	○
20-30	41.8		16.3	○
35-45	47.8		52.9	○
50-60	46.2		73.3	○
140-150	41.9		99	×
0-10	65.3	20J/cm ²	-76.4	○
20-30	67.3		16.3	○
35-45	68.9		52.9	×
50-60	64.2		73.3	×
140-150	66.6		99	×
0-10	121.9	20J/cm ²	-76.4	○
20-30	115.4		16.3	○
35-45	120.5		52.9	×
50-60	118.2		73.3	×
140-150	121.6		99	×

S×C
MPa・ μ m

[0084] [表2]

表2

傷状態		FLA条件		割れ試験結果
傷導入位置 最外周からの距離(mm)	導入した傷の 大きさC(μ m)	加熱エネルギー (処理温度)	最大応力S Mpa	
0-10	45.5	22J/cm ²	-81.7	○
20-30	41.8		21.43	○
35-45	47.8		61.03	○
50-60	46.2		82.6	×
140-150	41.9		108.9	×
0-10	65.3	22J/cm ²	-81.7	○
20-30	67.3		21.43	○
35-45	68.9		61.03	×
50-60	64.2		82.6	×
140-150	66.6		108.9	×
0-10	121.9	22J/cm ²	-81.7	○
20-30	115.4		21.43	○
35-45	120.5		61.03	×
50-60	118.2		82.6	×
140-150	121.6		108.9	×

[0085]

[表3]

表3

傷状態		FLA条件		
傷導入位置 最外周からの距離(mm)	導入した傷の 大きさC(μ m)	加熱エネルギー (処理温度)	最大応力S Mpa	S×C MPa・ μ m
0-10	45.5	24J/cm ²	-87	-3958.5
20-30	41.8		26.6	1111.88
35-45	47.8		69	3298.2
50-60	46.2		91.7	4236.54
140-150	41.9		118.4	4960.96
0-10	65.3	24J/cm ²	-87	-5681.1
20-30	67.3		26.6	1790.18
35-45	68.9		69	4754.1
50-60	64.2		91.7	5887.14
140-150	66.6		118.4	7885.44
0-10	121.9	24J/cm ²	-87	-10605.3
20-30	115.4		26.6	3069.64
35-45	120.5		69	8314.5
50-60	118.2		91.7	10838.94
140-150	121.6		118.4	14397.44
				割れ試験結果
				○
				○
				×
				×
				×
				○
				○
				×
				×
				×
				×
				×

[表4]

傷状態		FLA条件		割れ試験結果
傷導入位置 最外周からの距離(mm)	導入した傷の 大きさC(μ m)	加熱エネルギー (処理温度)	最大応力S Mpa	
0-10	45.5	26J/cm ²	-92	○
20-30	41.8		32	○
35-45	47.8		77.1	×
50-60	46.2		101	×
140-150	41.9		127.8	×
0-10	65.3	26J/cm ²	-92	○
20-30	67.3		32	○
35-45	68.9		77.1	×
50-60	64.2		101	×
140-150	66.6		127.8	×
0-10	121.9	26J/cm ²	-92	○
20-30	115.4		32	×
35-45	120.5		77.1	×
50-60	118.2		101	×
140-150	121.6		127.8	×

[0087] 応力値のマイナスは圧縮総力、総力値プラスは引張応力であり、割れ試験結果○は割れ発生無し、×は割れ発生有りを意味している。

[0088] この結果より、ウェーハ表層における最高到達温度が1100℃（加熱エ

エネルギー 22 J/cm^2 に相当) 以上で割れが発生すること、傷が存在する位置が中心から半径比 $2/3$ 以内の範囲であると割れが発生すること、半径比 $2/3$ 以内の領域に Crack サイズが $40 \mu\text{m}$ 以上の傷が存在していると割れが発生すること、応力 $S \times$ 傷の大きさ $C > 3500 \text{ (MPa} \cdot \mu\text{m)}$ で割れが発生することが明らかとなった。

[0089] 以上の結果から、FLA プロセスで起こる割れに関して、耐性を持たせるためには、特に半径比 $2/3$ 以内の領域 W_c で、

上述した式 (A) の条件から外れる傷が導入することを避ける必要があることが分かった。

傷はウェーハ加工プロセスにて、搬送工程や熱処理工程等においてウェーハをハンドリングする際に導入される危険がある。そこで、傷が除去される両面鏡面研磨工程以降で半径比 $2/3$ 以内の領域をハンドリングしないことで、FLA 処理における割れの危険性を低減できる。

[0090] <実験例 2>

同様にして、裏面 LPD の個数と割れ発生率との関係を測定した。

ウェーハ裏面に存在する Crack や傷を測定する手段としては、レーザ光散乱式パーティクルカウンター (SP1 もしくは SP2 等: KLA-Tencor 社製) を用いて LPD として検出することが可能である。本実験例は、裏面 LPD 数の異なる 300 mm ウェーハに対して FLA 炉を用いて割れ試験を実施した例である。割れ発生率は各水準 100 枚のウェーハを処理した際に割れ発生した率である。

その結果を表 5 に示す。

[0091]

[表5]

裏面LPD個数(2 μ m以上) (ウェーハ中心から2R/3 の範囲)	FLA熱処理条件(割れ発生率)		
	20J/cm ²	22J/cm ²	24J/cm ²
0~5個	0%	0%	0%
6~10個	0%	0%	0%
11個~20個	0%	0%	1%
20個~30個	0%	1%	3%

[0092] この結果から、LPDの個数を基準とすることで、割れ耐性を有するウェ

一ハの基準として検査工程を実施することが可能であることがわかる。

産業上の利用可能性

[0093] 本発明は、高い内部応力が発生する熱処理をほどこされるシリコンウェーハに好適なシリコンウェーハ製造方法に関する。本発明のシリコンウェーハ製造方法によれば、F L Aアニール処理によるミリ秒アニールでも割れ耐性を有するウェーハを提供することができる。

符号の説明

[0094] W シリコンウェーハ
W_r 裏面
W_o 中心

請求の範囲

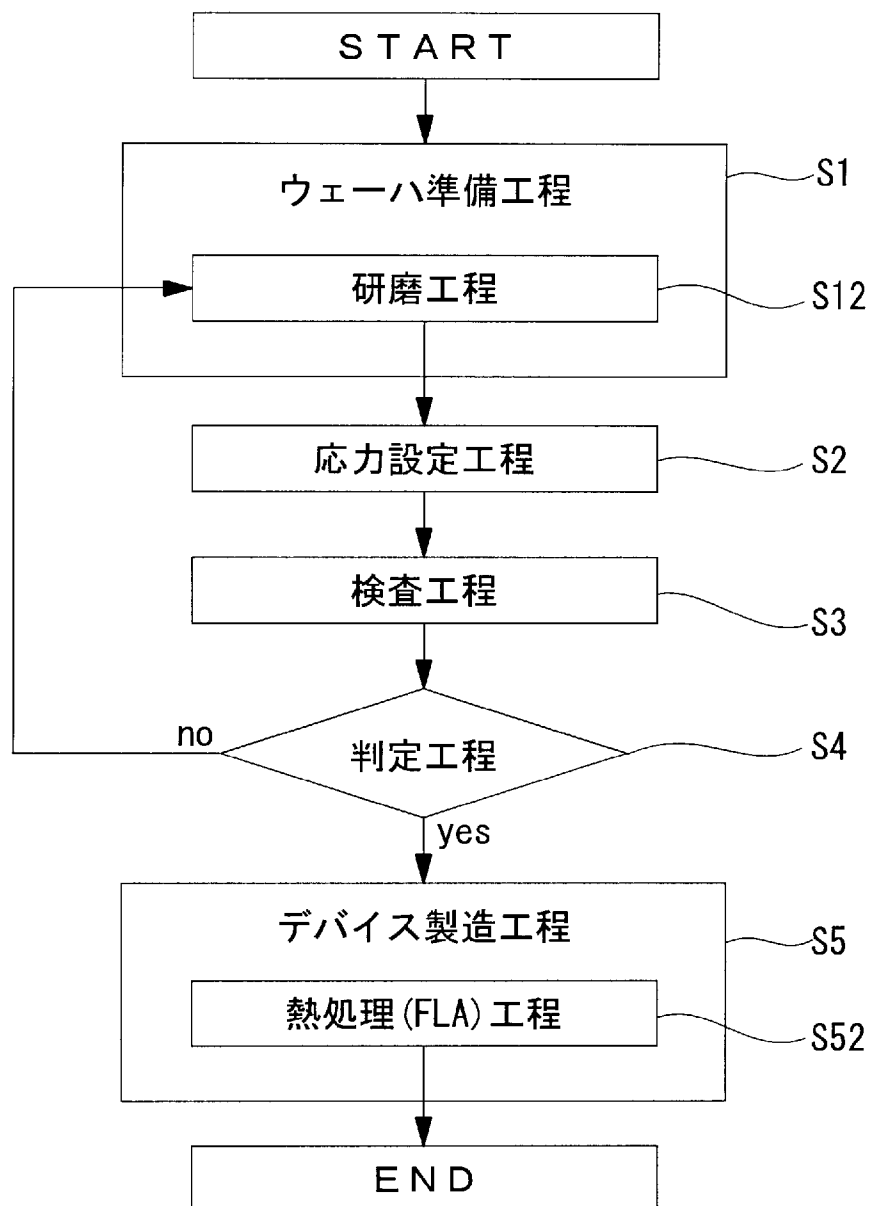
- [請求項1] シリコンウェーハの製造方法であって、
シリコン単結晶のインゴットをスライスし、そのスライスされたシリコンウェーハの表面処理を行うウェーハ準備工程と、
前記ウェーハ準備工程において準備した前記シリコンウェーハにかかる応力 S (MPa) を設定する応力設定工程と、
前記シリコンウェーハの表面または裏面に存在する傷を検査する検査工程と、
前記検査工程において検査したシリコンウェーハが、下記式 (A) の基準を満たすか否かを判定し、基準を満たすシリコンウェーハを合格、基準を満たさないシリコンウェーハを不合格とする判定工程と
$$\text{応力 } S \times \text{傷の大きさ } C \leq 3500 \text{ (MPa} \cdot \mu\text{m)} \cdots \text{(A)}$$

 C : シリコンウェーハ表面または裏面に存在する傷の大きさ (μm)
を備えるシリコンウェーハの製造方法。
- [請求項2] 前記応力 S が熱処理に依存するとき、
前記熱処理における処理条件は、処理温度を 1100°C 以上シリコンの融点以下とし、処理時間を $1\mu\text{秒}$ から 100m秒 程度までとする請求項1記載のシリコンウェーハの製造方法。
- [請求項3] 前記検査工程においてあるシリコンウェーハの裏面における大きさ $2\mu\text{m}$ 以上のLPDが10個以下であることが判明したとき、前記判定工程においてそのシリコンウェーハが上記 (A) の基準を満たすと判定する請求項1または2記載のシリコンウェーハの製造方法。
- [請求項4] 前記判定工程において上記 (A) の基準を満たさないと判定されたシリコンウェーハを、前記ウェーハ準備工程において再度表面処理する請求項1から3のいずれか記載のシリコンウェーハの製造方法。
- [請求項5] 前記シリコンウェーハの酸素濃度 O_i を、 $5 \times 10^{17} \sim 20 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ (OId-ASTM) に設定する請求項1

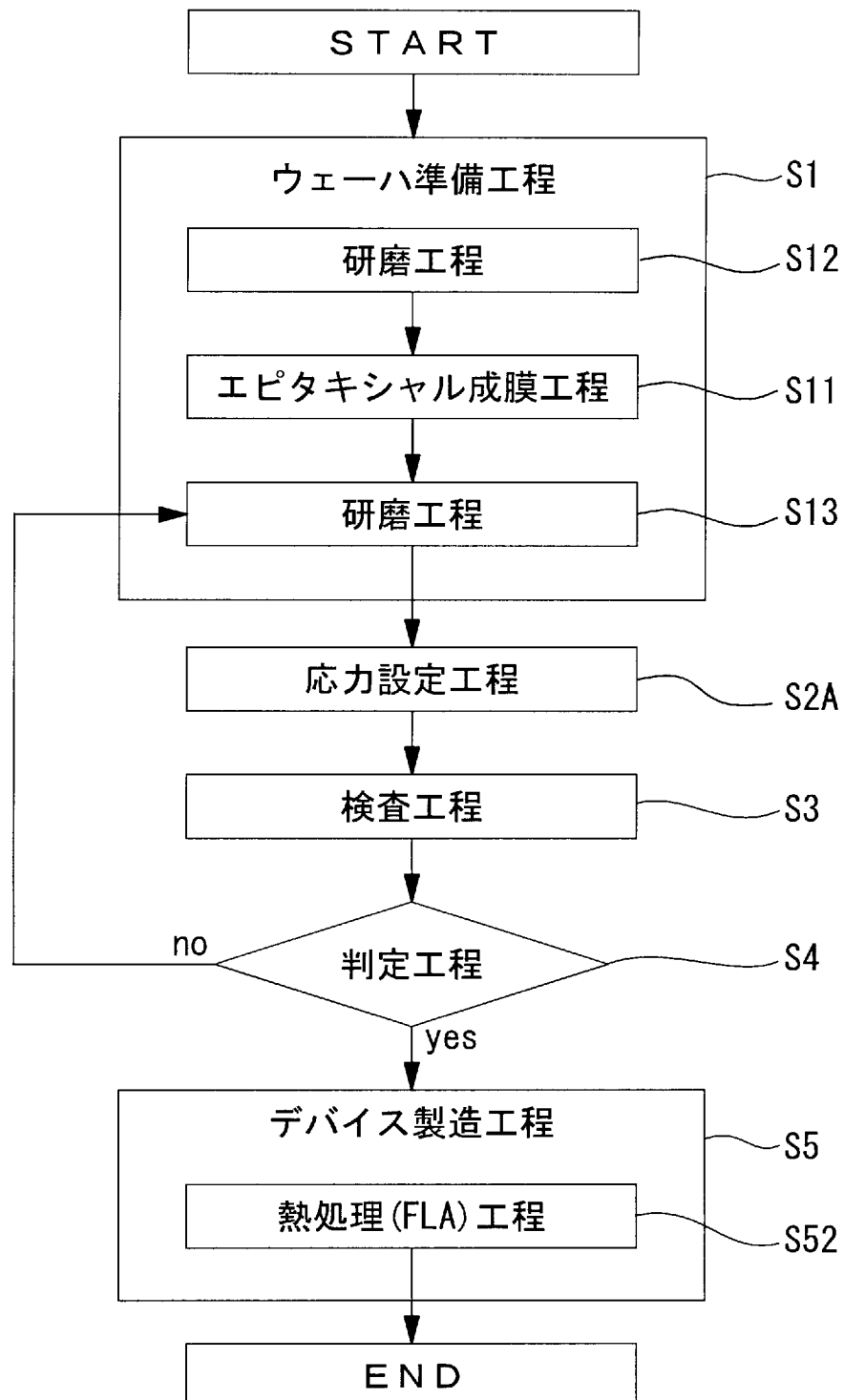
から 4 のいずれか記載のシリコンウェーハの製造方法。

[請求項6] 請求項 1 から 5 のいずれか記載のシリコンウェーハの製造方法により製造されるシリコンウェーハ。

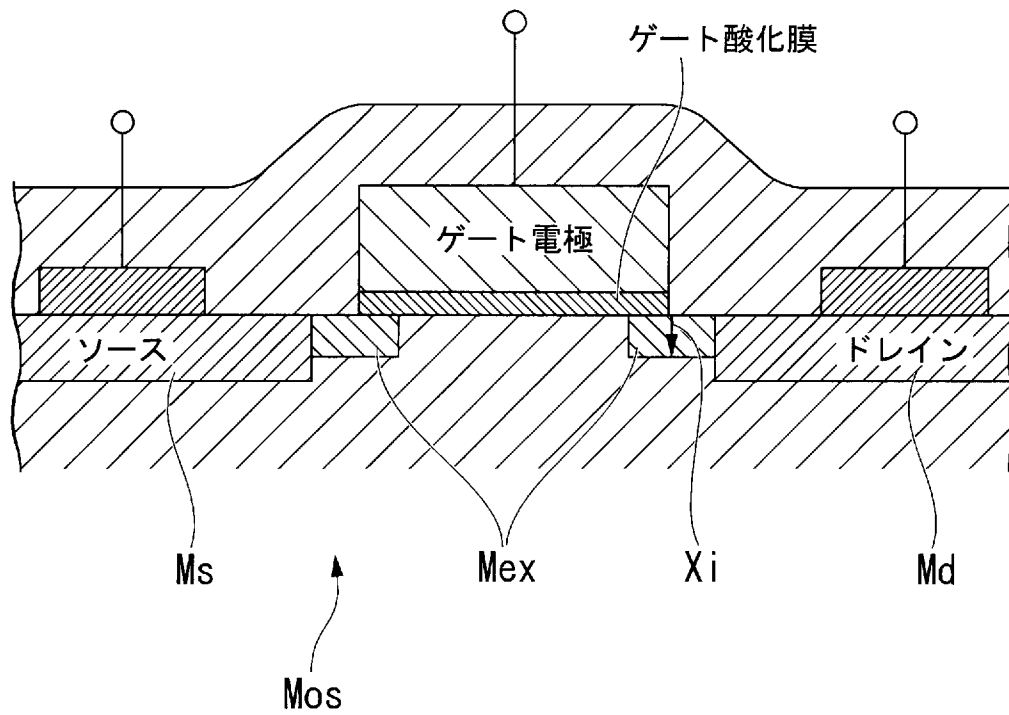
[図1]



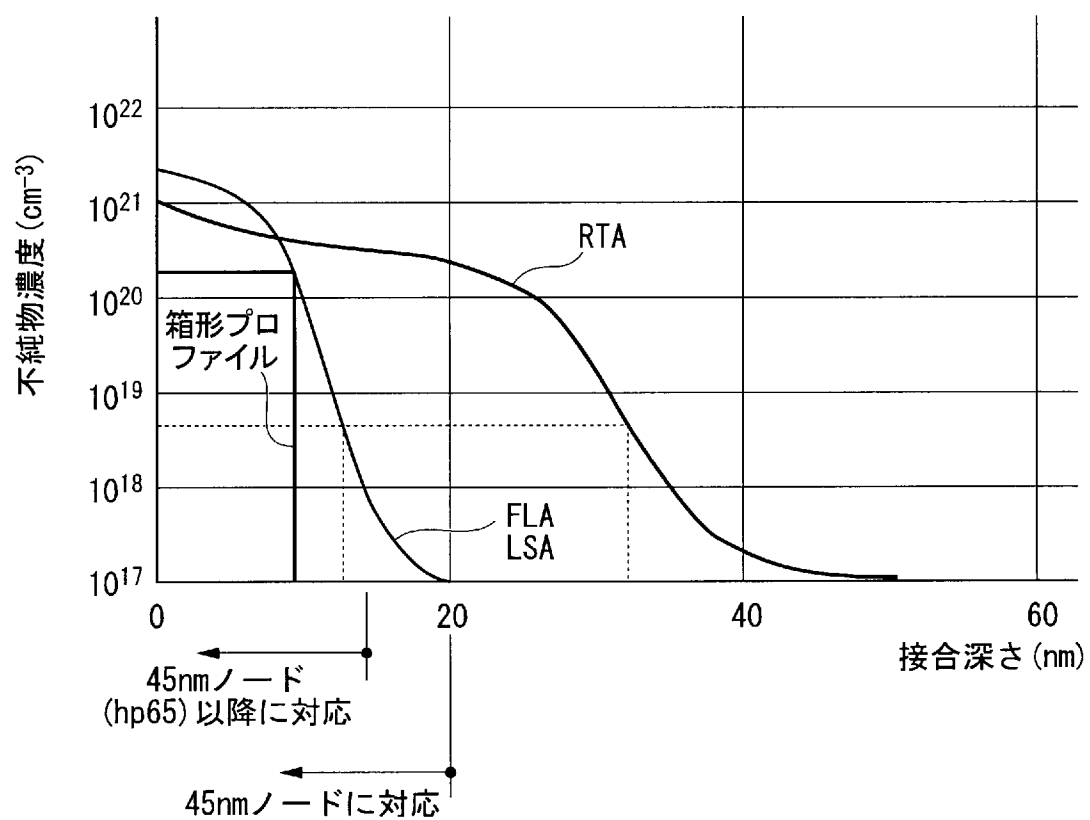
[図2]



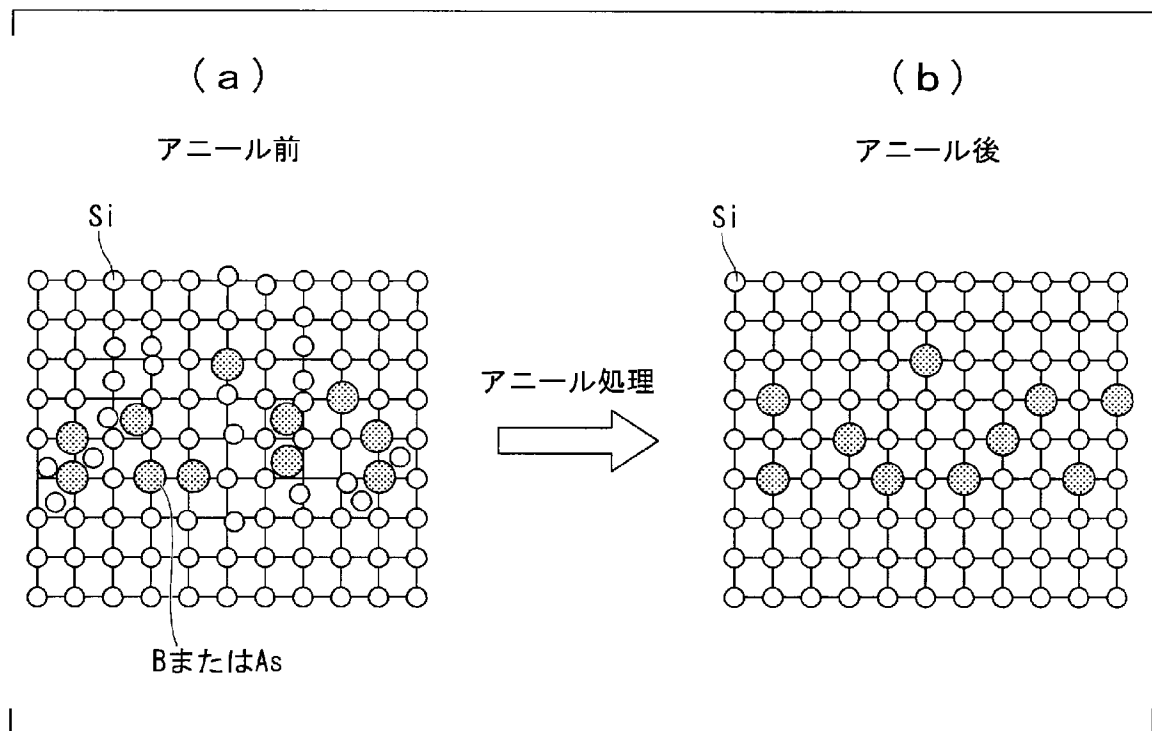
[図3]



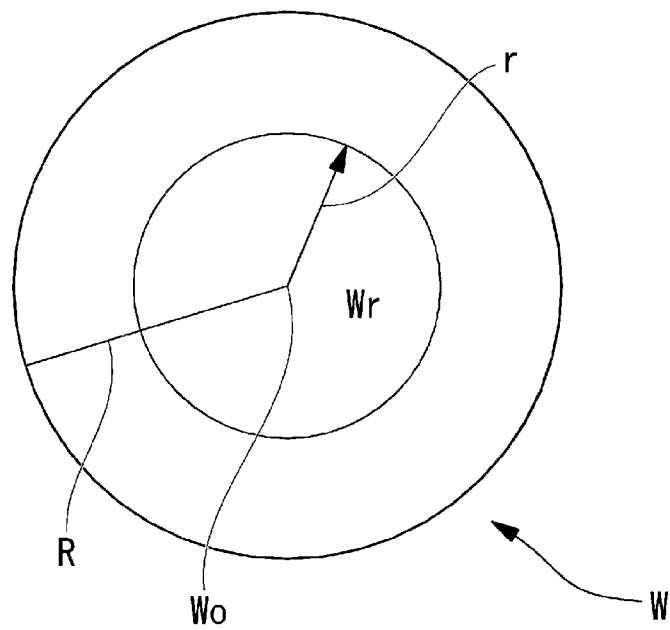
[図4]



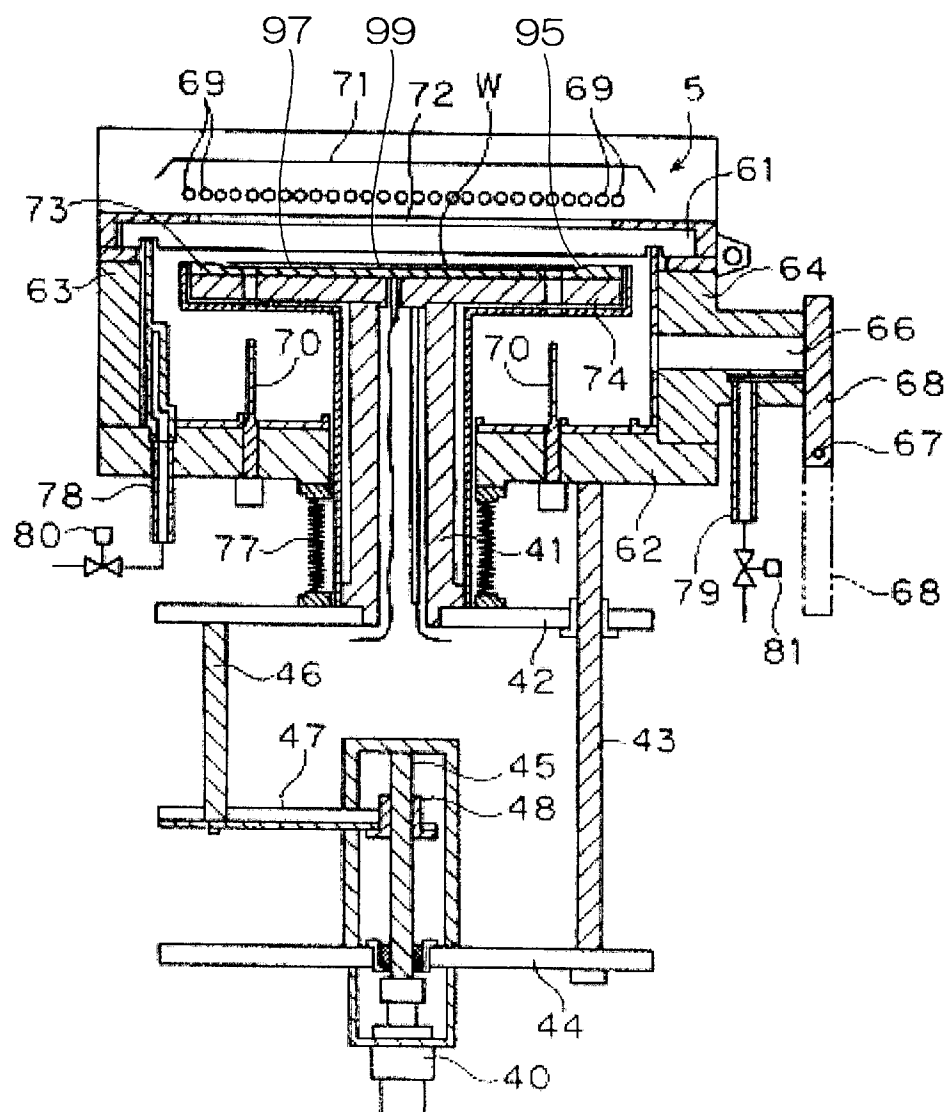
[図5]



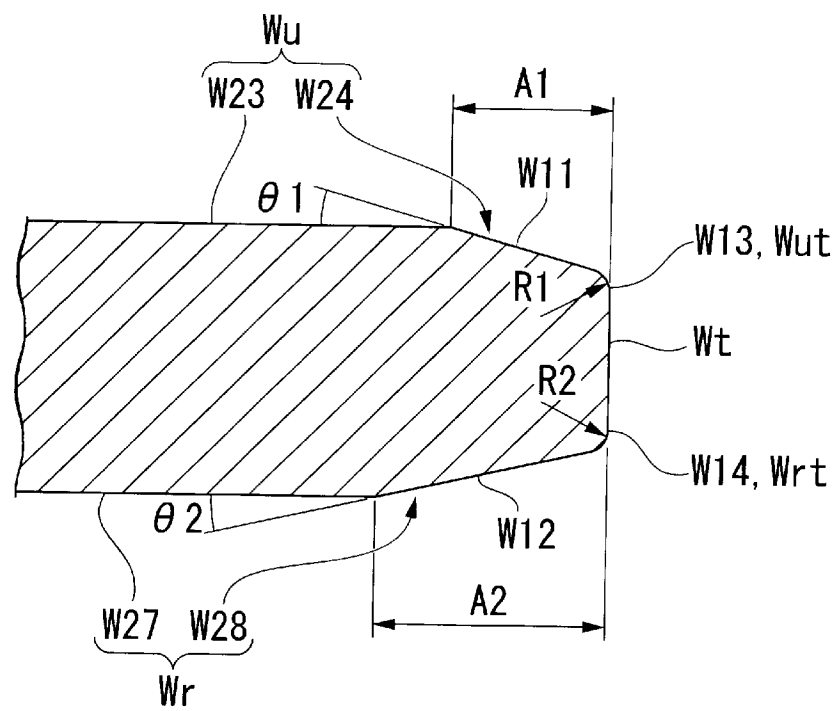
[図6]



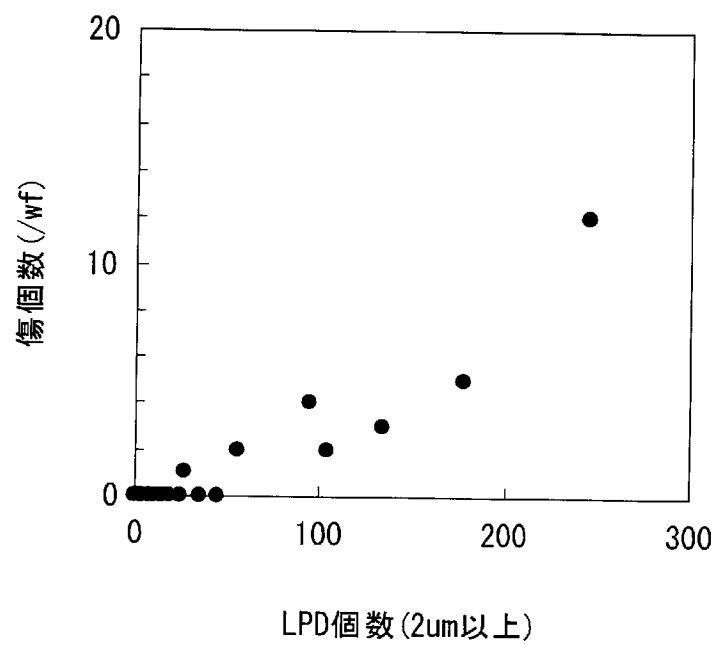
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/002060

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C30B33/02 (2006.01) i, C30B29/06 (2006.01) i, H01L21/265 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C30B33/02, C30B29/06, H01L21/265

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2010

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2010 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2008-306206 A (SUMCO Corp.), 18 December 2008 (18.12.2008), paragraphs [0039] to [0044] (Family: none)	6
X	JP 2009-23851 A (SUMCO Corp.), 05 February 2009 (05.02.2009), paragraphs [0062] to [0071] (Family: none)	6
X	JP 2004-319642 A (Sumitomo Mitsubishi Silicon Corp.), 11 November 2004 (11.11.2004), paragraph [0019] (Family: none)	6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
07 April, 2010 (07.04.10)Date of mailing of the international search report
20 April, 2010 (20.04.10)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/002060

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2006/003812 A1 (Sumitomo Mitsubishi Silicon Corp.), 12 January 2006 (12.01.2006), entire text & EP 1780781 A1	1-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. C30B33/02 (2006.01)i, C30B29/06 (2006.01)i, H01L21/265 (2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. C30B33/02, C30B29/06, H01L21/265

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JSTPlus (JDreamII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2008-306206 A (株式会社 S U M C O) 2008. 12. 18, 段落【0039】 - 【0044】 (ファミリーなし)	6
X	JP 2009-23851 A (株式会社 S U M C O) 2009. 02. 05, 段落【0062】 - 【0071】 (ファミリーなし)	6
X	JP 2004-319642 A (三菱住友シリコン株式会社) 2004. 11. 11, 段落 【0019】 (ファミリーなし)	6

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 7 . 0 4 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

2 0 . 0 4 . 2 0 1 0

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官 (権限のある職員)

田 中 則 充

4 G

9 7 3 0

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 1 6

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2006/003812 A1 (三菱住友シリコン株式会社) 2006.01.12, 全文 & EP 1780781 A1	1 - 6