

(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
2016 年 1 月 7 日(07.01.2016)



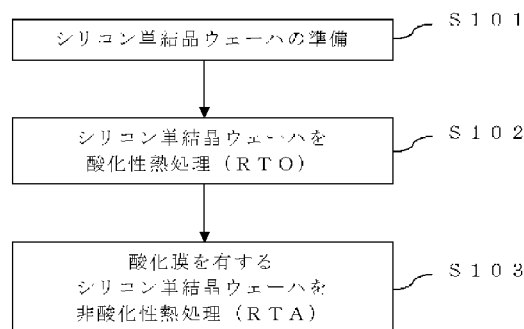
(10) 国際公開番号
WO 2016/002123 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/322 (2006.01) **C30B 33/02** (2006.01)
C30B 29/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/002484
- (22) 国際出願日: 2015 年 5 月 18 日(18.05.2015)
- (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 2014-137350 2014 年 7 月 3 日(03.07.2014) JP
- (71) 出願人: 信越半導体株式会社 (SHIN-ETSU HAN-
DOTAI CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1000004 東京都千代田
区大手町二丁目 2 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 曲 偉峰 (QU, Wei Feng); 〒3790196 群馬県
安中市磯部 2 丁目 1 3 番 1 号信越半導体株式会
社 半導体磯部研究所内 Gunma (JP). 田原 史夫
(TAHARA, Fumio); 〒3790196 群馬県安中市磯部 2
丁目 1 3 番 1 号信越半導体株式会社 半導体磯
部研究所内 Gunma (JP). 櫻田 昌弘 (SAKURADA,
Masahiro); 〒3790196 群馬県安中市磯部 2 丁目 1
3 番 1 号信越半導体株式会社 磯部工場内
Gunma (JP). 高橋 修治 (TAKAHASHI, Shuji); 〒
3703533 群馬県高崎市保渡田町 2 1 7 4 番地 1
三益半導体工業株式会社内 Gunma (JP).
- (74) 代理人: 好宮 幹夫 (YOSHIMIYA, Mikio); 〒
1100005 東京都台東区上野 7 丁目 6 番 1 1 号第
一下谷ビル 8 F 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, BN, 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,
IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS,
LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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.
- (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, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユー
ロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー
ロッパ (AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR),

[続葉有]

(54) Title: HEAT TREATMENT METHOD FOR SILICON SINGLE CRYSTAL WAFER

(54) 発明の名称: シリコン単結晶ウェーハの熱処理方法



S101 Prepare silicon single crystal wafer
S102 Apply oxidizing heat treatment (RTO) to silicon single crystal wafer
S103 Apply non-oxidizing heat treatment (RTA) to silicon single crystal wafer
which includes oxidized film

(57) Abstract: The present invention is a heat treatment method for a silicon single crystal wafer, the method being characterized in that: a silicon single crystal wafer is prepared by the Czochralski method, where the entire surface in the radial direction is an N region, or the entire surface in the radial direction is a mixture of an OSF region and the N region; the silicon single crystal wafer is subjected to oxidizing heat treatment in which the wafer is rapidly heat-treated in an oxidizing atmosphere for 10-30 seconds at 1000-1275°C; and following the oxidizing heat treatment, the silicon single crystal wafer which has an oxidized film that has been formed by the oxidizing heat treatment is subjected to a non-oxidizing heat treatment in which the wafer is rapidly heat-treated in a non-oxidizing atmosphere for 10-30 seconds at a temperature equal to or higher than that of the heat treatment temperature of the oxidizing heat treatment. Due to this configuration, the present invention provides a method for manufacturing a silicon single crystal wafer in which oxygen precipitates that act as gettering sites are formed uniformly in the inner section of the wafer.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2016/002123 A1



OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

本発明は、チョクラスキー法により作製した、径方向の全面がN領域、又は径方向の全面がOSF領域とN領域が混在したシリコン単結晶ウェーハを、 $1000-1275^{\circ}\text{C}$ で10-30秒間、酸化性雰囲気下で急速熱処理する酸化性熱処理を実施し、更に、該酸化性熱処理に連続して、当該酸化性熱処理で形成された酸化膜が付いたままのシリコン単結晶ウェーハを、前記酸化性熱処理における熱処理温度以上の温度で10-30秒間、非酸化性雰囲気下で急速熱処理する非酸化性熱処理を実施することを特徴とするシリコン単結晶ウェーハの熱処理方法である。これにより、ウェーハ内部にゲッターリングサイトとなる酸素析出物を均一に形成することができるシリコン単結晶ウェーハの製造方法が提供される。

明 細 書

発明の名称：シリコン単結晶ウェーハの熱処理方法

技術分野

[0001] 本発明は、シリコン単結晶ウェーハの熱処理方法に関する。

背景技術

[0002] シリコン単結晶ウェーハの品質評価における一つの指標に、T D D B (T i m e D e p e n d e n t D i e l e c t r i c B r e a k d o w n : 経時絶縁破壊) 特性がある。このT D D B特性が優れたウェーハを提供する方法として、特許文献1には、ベカンシー (V a c a n c y : 以下、V aとも表記する。) と呼ばれる点欠陥である空孔や、インタースティシャルシリコン (I n t e r s t i t i a l S i l i c o n : 以下、I - S iとも表記する。) と呼ばれる格子間型の点欠陥の過不足が少ないニュートラル (N e u t r a l : 以下Nともいう) 領域を径方向の全面に有するウェーハを、急速熱処理装置を用いて熱処理することが記載されている。

[0003] 特許文献1によれば、まず、ウェーハを酸化性雰囲気下で急速熱処理 (以下、酸化性雰囲気下での急速熱処理を、R T Oと呼称する場合がある) し、その後、酸化膜を除去してから、非酸化性雰囲気下で急速熱処理 (以下、非酸化性雰囲気下での急速熱処理を、ここでは単にR T Aと呼称する場合がある) する方法が開示されている。しかし、特許文献1等の方法で、空孔や点欠陥の過不足が少ないN領域結晶から成るウェーハを熱処理する場合であっても、ウェーハの面内に酸素析出核の不均一部分が存在し、R T Aの酸素析出促進効果で酸素析出が不均一となる現象が顕著化してしまう。その結果、大きな酸素析出物が形成されることによりT D D B特性に影響を及ぼすという問題がある。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2008-207991号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] この現象が起こる主な原因を以下に説明する。

上記の空孔や点欠陥の過不足が少ないN領域から成るウェーハであっても、そのN領域には、V_aが優勢なN_v領域とI-Siが優勢なN_i領域が存在する。ここで、N_v領域はN_i領域と比較して酸素析出核が多いので、径方向の全面がN_v領域からなるシリコン単結晶ウェーハを、非酸化性雰囲気下で急速熱処理すると、径方向の全面がN_i領域からなるシリコン単結晶ウェーハを同様に熱処理した場合に比べ酸素析出促進効果が大きくなる。同様に、径方向の全面にOSF (Oxidation induced Stacking Faults : 酸化誘起積層欠陥) 領域とN_v領域が混在しているシリコン単結晶ウェーハを、非酸化性雰囲気下で急速熱処理すると、径方向の全面がN_i領域からなるシリコン単結晶ウェーハに比べ酸素析出促進効果が大きくなる。

[0006] さらに、特許文献1のように、RTO後に、酸化膜を除去してからRTAを行うと、RTAにおいて空孔が注入されやすく、過剰に空孔が注入されてしまい、酸素析出促進効果をより加速する作用をもたらす。よって、ウェーハ面内に、酸素析出しやすいN_v領域及びOSF領域と、酸素析出し難いN_i領域が混在すると、ウェーハ面内において、酸素析出物密度のばらつきや、大きな酸素析出物が生じてしまい、その結果、優れたTDD特性が得られないと考えられる。

[0007] また、シリコン単結晶ウェーハの径方向の全面がN_v領域のみやN_i領域のみとなるように、シリコン単結晶インゴットを引き上げることは非常に困難であり、製造歩留の大きな低下を招き、この方法でのシリコン単結晶ウェーハの量産は現実的でない。

[0008] 本発明は前述のような問題に鑑みてなされたもので、ウェーハ内部にゲッタリングサイトとなる酸素析出物を均一に形成することができるシリコン単結晶ウェーハを得ることができるシリコン単結晶ウェーハの熱処理方法を提

供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 上記目的を達成するために、本発明は、シリコン単結晶ウェーハの熱処理方法であって、チョクラルスキー法により作製した、径方向の全面がN領域、又は径方向の全面がOSF領域とN領域が混在したシリコン単結晶ウェーハを、1000-1275℃で10-30秒間、酸化性雰囲気下で急速熱処理する酸化性熱処理を実施し、更に、該酸化性熱処理に連続して、当該酸化性熱処理で形成された酸化膜が付いたままのシリコン単結晶ウェーハを、前記酸化性熱処理における熱処理温度以上の温度で10-30秒間、非酸化性雰囲気下で急速熱処理する非酸化性熱処理を実施することを特徴とするシリコン単結晶ウェーハの熱処理方法を提供する。

[0010] このように、酸化性雰囲気下でのRTOでは、熱処理温度を1000℃以上にすることにより、OSF領域におけるOSF核を消滅又は不活性化させたり、格子間シリコンを注入してN_v領域をN_i領域に変化させたりすることができる。また、RTOにおける熱処理温度を1275℃以下にすることにより、N_i領域がI領域になるのを抑制することができる。また、その後の非酸化性雰囲気下でのRTAでは、熱処理温度をRTOの温度以上にすることにより空孔が注入されるが、このとき酸化膜を介してウェーハ内部に空孔を注入することにより、過剰に空孔が注入されるのを抑制できる。これらの、N_i領域化や、過剰な空孔注入の抑制によって、酸素析出が不均一となる現象が顕著化するのを防止できる。従って、ウェーハ面内の酸素析出物を均一な分布で形成することができるシリコン単結晶ウェーハを得ることができる。そのため、大きな酸素析出物などが形成されるのを抑制することができ、TDD特性等に悪影響が及ぶのを防ぐことができる。また、表層にDZ層を形成できる。更に、本発明はRTOで形成された酸化膜を除去する工程がないので、シリコン単結晶ウェーハの製造工程を簡略化することができ、高い生産効率を維持することができる。また、連続した急速熱処理のため、熱処理に費やす時間が短時間で済む。

- [0011] このとき、前記非酸化性熱処理における熱処理温度を、前記酸化性熱処理の熱処理温度より25℃以上高い温度とすることが好ましい。
- [0012] 本発明では、酸化膜を介してシリコン単結晶ウェーハの内部に空孔を注入するため、このようにRTAの熱処理温度をRTOの熱処理温度より25℃以上高温とすれば、より効率良く、かつ、面内均一に空孔を注入することができる。
- [0013] またこのとき、前記酸化性熱処理における熱処理温度を1025℃以上とすることができる。
- [0014] このようにすれば、OSF核をより確実に消滅または不活性化させ、かつ、N_v領域のN_i領域化をより一層促進させることができる。
- [0015] このとき、前記酸化性熱処理における酸化性雰囲気、酸素を含む雰囲気とすることができる。
- [0016] このように、酸化性雰囲気として、酸素を含む雰囲気を使用すれば、効率よくシリコン単結晶ウェーハの表面に酸化膜を形成することができる。
- [0017] またこのとき、前記非酸化性熱処理における非酸化性雰囲気、窒化性雰囲気、Ar雰囲気、またはこれらの混合雰囲気とすることができる。
- [0018] 非酸化性雰囲気としては、これらのような雰囲気がよく用いられる。

発明の効果

- [0019] 本発明のシリコン単結晶ウェーハの熱処理方法であれば、ウェーハ表面からデバイス活性領域となる一定の深さまで、結晶欠陥の発生がないDZ層を形成することができる。また、酸素析出熱処理等によって、ウェーハ内部にはゲッタリングサイトとなる酸素析出物を均一に形成することができるシリコン単結晶ウェーハを得ることができる。

図面の簡単な説明

- [0020] [図1]本発明のシリコン単結晶ウェーハの熱処理方法の一例を示したフロー図である。
- [図2]本発明において用いることができる単結晶引き上げ装置の一例を示す概略図である。

[図3]本発明において用いることができる急速熱処理装置の一例を示す概略図である。

[図4]実施例1－4のT D D Bの評価結果をまとめた図である。

[図5]実施例1－4のシリコン単結晶ウェーハの表面からの深さに対する、BMDの密度を示す図である。

[図6]比較例1－3の熱処理条件、BMDの評価結果、及びT D D Bの評価結果をまとめた図である。

発明を実施するための形態

[0021] 以下、本発明について実施の形態を説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。

上記のように、従来、二段階の急速熱処理を施す熱処理方法が行われてきたが、酸素析出熱処理等を行うと、特に、ウェーハ面内に酸素析出しやすいN_v領域やO S F領域と、酸素析出し難いN_i領域が混在している場合に、酸素析出物の密度のばらつきが生じ易くなり、その結果、優れたT D D B特性が得られないという問題があった。

[0022] そこで、本発明者等はこのような問題を解決すべく鋭意検討を重ねた。その結果、R T Oに連続して、R T Oで形成された酸化膜が付いたままのシリコン単結晶ウェーハをR T O以上の温度でR T Aすることで、酸素析出熱処理等を施した時に、ウェーハ面内で酸素析出物の密度のばらつきを低減できることに想到し、本発明を完成させた。

[0023] 図1に示すように、本発明のシリコン単結晶ウェーハの熱処理方法は、まず、チョクラルスキー法により作製した、径方向の全面がN領域、又は径方向の全面がO S F領域とN領域が混在したシリコン単結晶ウェーハを準備する(図1のS 1 0 1)。次に、準備したシリコン単結晶ウェーハを1 0 0 0－1 2 7 5℃で1 0－3 0秒間、酸化性雰囲気下で急速熱処理する酸化性熱処理を実施する(図2のS 1 0 2)。更に、酸化性熱処理に連続して、当該酸化性熱処理で形成された酸化膜が付いたままの状態のシリコン単結晶ウェーハを、前記酸化性熱処理における熱処理温度以上の温度で1 0－3 0秒間

、非酸化性雰囲気下で急速熱処理する非酸化性熱処理を実施する（図１のＳ１０３）。

[0024] ここで、上記工程に用いることのできる装置について説明する。

径方向の全面がＮ領域、又は径方向の全面がＯＳＦ領域とＮ領域が混在したシリコン単結晶ウェーハの準備でチョクラスキー法によりシリコン単結晶を引き上げるにあたっては、例えば図２のような単結晶引き上げ装置を使用することができる。

図２に示すように、この単結晶引き上げ装置１には、引き上げ室２内に、シリコン単結晶インゴット１０の原料となるシリコン融液１１を収容するルツボ３が設けられている。そして、このルツボ３にはルツボ保持軸５及びその回転機構（図示せず）が備えられており、単結晶の育成中にルツボ３を回転できるようになっている。さらに、このルツボ３の周囲には、加熱のためのヒータ４が配設されており、さらにヒータ４の外側周囲には断熱材９が配置されている。そして、ルツボ３内のシリコン融液１１の上方には、シリコンの種結晶６を保持するシードチャック７、シードチャック７を引上げるワイヤ８、ワイヤ８を回転又は巻き取る巻取機構（図示せず）が備えられている。このような装置１により、シリコン単結晶インゴット１０は、原料のシリコン融液１１から、引き上げ速度等を調整してワイヤ８によって引上げられる。このように、本発明の熱処理方法では従来と同様の単結晶引き上げ装置を用いて製造したシリコン単結晶インゴット１０から切り出したシリコン単結晶ウェーハを用いることができる。

[0025] 次に、上記のような単結晶引き上げ装置１によって引き上げられたシリコン単結晶インゴット１０から切り出したシリコン単結晶ウェーハＷに各急速熱処理を施すための装置について述べる。

図３に示す急速熱処理装置１２は、石英からなるチャンバー１３を有し、このチャンバー１３内でシリコン単結晶ウェーハＷを急速熱処理できるようになっている。加熱は、チャンバー１３を上下左右から囲繞するように配置される加熱ランプ１４（例えばハロゲンランプ）によって行う。この加熱ラ

ンプ14はそれぞれ独立に供給される電力を制御できるようになっている。

[0026] ガスの排気側は、オートシャッター15が装備され、外気を封鎖している。オートシャッター15は、ゲートバルブによって開閉可能に構成される不図示のウェーハ挿入口が設けられている。また、オートシャッター15にはガス排気口20が設けられており、炉内雰囲気調整できるようになっている。

そして、シリコン単結晶ウェーハWは石英トレイ16に形成された3点支持部17の上に配置される。トレイ16のガス導入口側には、石英製のバッファ18が設けられており、酸化性ガスや窒化性ガス、Arガス等の導入ガスがシリコン単結晶ウェーハWに直接当たるのを防ぐことができる。

また、チャンバー13には不図示の温度測定用特殊窓が設けられており、チャンバー13の外部に設置されたパイロメータ19により、その特殊窓を通してシリコン単結晶ウェーハWの温度を測定することができる。

急速熱処理装置12もまた、従来と同様のものを用いることができる。

[0027] 以下、図2、3の各装置を用いて行う本発明の熱処理方法における各工程について説明する。

(シリコン単結晶ウェーハの準備)

この工程では、後に二段階の急速熱処理（酸化性雰囲気下の急速熱処理（初段のRTO（Rapid Thermal Oxidation）処理）、非酸化性雰囲気下の急速熱処理（二段目のRTA（Rapid Thermal Annealing）処理））を施す、径方向の全面がN領域、又は径方向の全面がOSF領域とN領域が混在したシリコン単結晶ウェーハWを準備する。

[0028] すなわち、まず、図2の単結晶引き上げ装置1を用い、チョクラルスキー法によってシリコン単結晶インゴット10を引き上げる。このとき、この引き上げたシリコン単結晶インゴット10から径方向の全面がN領域、又は径方向の全面がOSF領域とN領域が混在したシリコン単結晶ウェーハWを切り出せるように、例えば引き上げ速度などを適当に調整して、シリコン単結

晶インゴット 10 の内部の欠陥領域が目的に沿った分布となるように引き上げを行う。

このようにしてシリコン単結晶インゴット 10 を引き上げた後、例えばワイヤソー等のインゴットの切断装置を用いてウェーハ状に切り出し、径方向の全面が N 領域、又は径方向の全面が O S F 領域と N 領域が混在したシリコン単結晶ウェーハ W を得る。

[0029] (酸化性雰囲気下の急速熱処理)

次に、準備したシリコン単結晶ウェーハ W に対し、図 3 の急速熱処理装置 12 を用いて、酸化性雰囲気下で急速熱処理 (R T O) を施す。なお、この酸化性雰囲気下の急速熱処理によって、シリコン単結晶ウェーハ W の表面には熱酸化膜が形成される。

[0030] このときの熱処理条件としては、1000～1275℃の温度範囲で10～30秒間保持し、熱処理する。この酸化性雰囲気下の急速熱処理では、熱処理温度を1000℃以上にすることにより、O S F 核を消滅または不活性化させたり、格子間シリコンを注入してシリコン単結晶ウェーハ W の N v 領域を N i 領域に変化させたりすることができる。また、熱処理温度を1275℃以下にすることにより、シリコン単結晶ウェーハ W に N i 領域が存在している場合に、N i 領域が I 領域になることを抑制することができる。

[0031] またこのとき、酸化性熱処理における熱処理温度を1025℃以上とすることができる。このようにすれば、O S F 核をより確実に消滅または不活性化させ、N v 領域の N i 領域化をより一層促進させることができる。

[0032] また、チャンバー 13 内の酸化性雰囲気としては、例えば酸素を含む雰囲気を使用することができる。好ましくは、100%酸素雰囲気とする。

酸化性雰囲気として、酸素を含む雰囲気を使用すれば、効率よくシリコン単結晶ウェーハ W の表面に酸化膜を形成することができる。

[0033] (非酸化性雰囲気下での急速熱処理)

ここでは、前工程の R T O にて形成した酸化膜を除去することなく、連続して、図 3 の急速熱処理装置 12 を用い、非酸化性雰囲気下での急速熱処理

(R T A) をシリコン単結晶ウェーハWに施す。このとき、R T Oの熱処理温度以上の温度で10〜30秒間熱処理することにより、シリコン単結晶ウェーハの表面に形成された酸化膜を介して、シリコン単結晶ウェーハWの内部に空孔を注入する。また、このときのチャンバー13内の雰囲気は、窒化性雰囲気、Ar雰囲気、またはこれらの混合雰囲気とすることができる。窒化性雰囲気としては、例えばNH₃、N₂等の雰囲気が挙げられる。

[0034] このR T Aでは、上述のように、熱処理温度をR T Oの温度より高温にすることにより空孔が注入されるが、R T Oで形成された酸化膜を介して空孔を注入することにより、後に酸素析出熱処理等を施した際に、ウェーハ面内の酸素析出物の形成をより均一にすることができる。

更に、本発明はR T Oによる酸化膜を除去しないので、熱処理工程をより簡略化することができ、効率の面でも好ましい熱処理方法となる。

[0035] また、本発明は、R T Aの熱処理温度をR T Oの熱処理温度より25℃以上高温とすることができる。具体的には、1025〜1300℃の温度範囲とすることが好ましい。このような熱処理温度であれば、酸化膜を介して空孔を注入する場合であっても、より効率よく空孔を注入することができるので、より一層好ましい。

[0036] 以上のように、本発明の熱処理方法は、まず、一段目のR T Oにより、O S F領域におけるO S F核の消滅又は不活性化を促進、及び格子間シリコンを注入してN_v領域のN_i領域化を促進させる。また、酸化膜を除去せず、酸化膜をつけたまま、R T Oに連続して二段目のR T Aを行うことで、酸化膜を介して空孔を注入する。これらによって、N_i領域及びN_v領域が混在するウェーハであっても、酸素析出熱処理等で、面内均一に酸素析出物を形成することができ、さらにはN領域とO S F領域が混在するシリコン単結晶ウェーハであっても優れたT D D B特性を得ることが可能である。

[0037] また、連続した急速熱処理のため、熱処理に費やす時間が短時間で済む。このため、表層にD Z層を有し、T D D B特性が優れ、かつ、酸素析出熱処理等によってバルク領域内に十分なBMDを形成することが可能なシリコン

単結晶ウェーハを、効率的にコストをかけずに製造することが可能である。
このとき、R T O後、シリコン単結晶ウェーハを一旦冷却してからR T Aを行ってもよいし、R T O後、シリコン単結晶ウェーハを冷却せずに熱処理雰囲気切り替えてR T Aを行ってもよい。

[0038] 尚、シリコン単結晶ウェーハの面内の酸素析出物を面内均一に形成するにはシリコン単結晶ウェーハの酸素濃度が低い方が容易となるが、酸素濃度が高い場合であっても、本発明ではR T O及びR T Aの熱処理条件を制御することにより、酸素析出物を面内均一に形成することが可能であるので、シリコン単結晶ウェーハの酸素濃度は特に限定されない。

実施例

[0039] 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。

[0040] (実施例1)

まず、直径が200mm、酸素濃度が12ppma (JEIDA:日本電子工業振興協会による換算係数を使用)、欠陥領域として最外周部にOSF領域を含むCOPフリーのシリコン単結晶ウェーハを実施例1用に準備した。すなわち、最外周部にOSF領域を有するN領域ウェーハである。

[0041] そして、本発明の熱処理方法にあたる実施例1として、まず、図3に示すような急速熱処理装置12を用い、上記準備したウェーハに、100%酸素雰囲気中で、1225℃、10秒の急速熱処理(一段目のR T O処理)を施した。このとき、シリコン単結晶ウェーハには、膜厚が11~12.2nmの酸化膜が形成された。

その後、この酸化膜をつけたまま、ArとNH₃の混合雰囲気下で1225℃、10秒の急速熱処理(二段目のR T A処理)を施した。このように、二段目の熱処理であるR T Aの熱処理温度は、一段目の熱処理であるR T Oの熱処理温度と同じとした。

[0042] R T A処理後、酸素析出熱処理等(条件:600℃で6時間、800℃で4時間、1000℃で16時間)を施し、シリコン単結晶ウェーハのTDD

B評価及びBMDの評価を行った。

尚、BMD評価は、シリコン単結晶ウェーハを劈開面に沿って分割し、その断面をエッチングした後に、観察することでBMDの単位体積当たりの密度を測定した。

[0043] 図4に、実施例1及び後述する実施例2-4のTDDBの評価結果を、図5に実施例1及び後述する実施例2-4のBMDの評価結果を示す。

図5に示すように、上記のような本発明の熱処理方法に従って、熱処理を施すことで、特に、ウェーハ表面から深さ100 μ mの位置で、BMDの体積密度が $7.0 \times 10^8 / \text{cm}^3$ となり、BMDを十分に形成することができ、後述する比較例1、2よりも効率よく十分なBMDを形成することができた。

また、TDDBのCモード（真性故障）の評価を行ったところ、図4に示すように、その良品率は後述する比較例よりも良好な97.8%となった。本発明によって、シリコン単結晶ウェーハ内部にBMDを均一に形成でき、大きな酸素析出物が形成されるのを防ぎ、優れたTDDB特性が得られたものと考えられる。

[0044] （実施例2）

RTO及びRTAの熱処理温度をいずれも1250℃に設定したこと以外は、実施例1と同様な条件で熱処理し、実施例1と同様な方法でTDDB及びBMDを評価した。

[0045] その結果、図5に示すように、ウェーハ表面から深さ100 μ mの位置で、BMDの体積密度が $6.0 \times 10^8 / \text{cm}^3$ となり、十分なBMDを形成でき、後述する比較例1、2よりも効率よく十分なBMDを形成することができた。

また、TDDBのCモード（真性故障）の評価を行ったところ、図4に示すように、その良品率は後述する比較例よりも良好な98.0%となり、このことから、シリコン単結晶ウェーハ内部にBMDを均一に形成できたと考えられる。

[0046] (実施例3)

R T Oの熱処理温度を1225℃、R T Aの熱処理温度を1250℃、即ち、R T Aの熱処理温度をR T Oの熱処理温度より25℃高くしたこと以外は、実施例1と同様な条件で熱処理し、実施例1と同様な方法でT D D B及びBMDを評価した。

[0047] その結果、図5に示すように、特に、ウェーハ表面から深さ75μmの位置で、BMDの体積密度が $2.6 \times 10^9 / \text{cm}^3$ となり、十分な密度のBMDを形成することができた。このように、非酸化性熱処理(R T A)における熱処理温度を、酸化性熱処理(R T O)の熱処理温度より25℃以上高い温度とすることで、前述の実施例1、2よりも更に、高密度でBMDを形成できることが確認された。

また、T D D BのCモード(真性故障)の評価を行ったところ、図4に示すように、その良品率は100%となり、このことから、R T Aにおける熱処理温度を、R T Oの熱処理温度より25℃以上高い温度とすることで、シリコン単結晶ウェーハ内部にBMDをより均一に形成できたと考えられる。

[0048] (実施例4)

R T Oの熱処理温度を1250℃、R T Aの熱処理温度を1275℃、即ち、R T Aの熱処理温度をR T Oの熱処理温度より25℃高くしたこと以外は、実施例1と同様な条件で熱処理し、実施例1と同様な方法でT D D B及びBMDを評価した。

[0049] その結果、図5に示すように、特に、ウェーハ表面から深さ75μmの位置で、BMDの体積密度が $2.3 \times 10^9 / \text{cm}^3$ となり、十分にBMDを形成することができた。このように、非酸化性熱処理(R T A)における熱処理温度を、酸化性熱処理(R T O)の熱処理温度より25℃以上高い温度とすることで、前述の実施例1、2よりも更に、高密度でBMDを形成できることが確認された。

また、T D D BのCモード(真性故障)の評価を行ったところ、図4に示すように、その良品率は100%となり、このことから、R T Aにおける熱

処理温度を、R T Oの熱処理温度より25℃以上高い温度とすることで、シリコン単結晶ウェーハ内部にBMDをより均一に形成できたと考えられる。

[0050] (比較例1)

R T Oを熱処理温度980℃、熱処理時間20秒とし、R T A熱処理温度1175℃、熱処理時間10秒としたこと以外は、実施例1と同様な条件で熱処理し、実施例1と同様な方法でT D D B及びBMDを評価した。

[0051] その結果、図6に示すように、BMDの体積密度がピーク値で $1.05 \times 10^8 / \text{cm}^3$ となり、前述の実施例1-4と比較すると、BMDの体積密度が低くなることが確認された。

また、T D D BのCモード(真性故障)の評価を行ったところ、その良品率は65.2%と前述の実施例1-4に大幅に劣っていた。これは、R T Oにおける熱処理温度を1000℃未満としたことで、シリコン単結晶ウェーハのN i領域化が促進されず、面内でBMDの密度にばらつきが生じたためと考えられる。

[0052] (比較例2)

R T Oの熱処理温度を1225℃、R T Aの熱処理温度を1200℃としたこと、即ち、R T Aの熱処理温度をR T Oの熱処理温度未満としたこと以外は、実施例1と同様な条件で熱処理し、実施例1と同様な方法でT D D B及びBMDを評価した。

[0053] その結果、図6に示すように、BMDの体積密度がピーク値で $3.5 \times 10^7 / \text{cm}^3$ となり、前述の実施例1-4と比較すると、BMDの体積密度が大幅に低くなることが確認された。このように、R T Aの熱処理温度をR T Oの熱処理温度未満とすると、空孔が注入されず、BMDが十分に形成されない。

また、T D D BのCモード(真性故障)の評価を行ったところ、その良品率は88.6%と実施例1-4に大幅に劣っていた。これは、R T Oで残存した大きいサイズの酸素析出物が、その後のR T Aにおいて、周りの酸素を吸収し、大きなBMDに成長したことが原因と考えられる。

[0054] (比較例3)

R T O後に酸化膜を除去してから、R T Aを行ったこと以外は、実施例1と同様な条件で熱処理し、実施例1と同様な方法でT D D B及びBMDを評価した。

[0055] その結果、図6に示すように、BMDの体積密度がピーク値で $1.0 \times 10^9 / \text{cm}^3$ となり、前述の実施例1、2と同等の、BMDの体積密度となることが確認された。これは、酸化膜を除去したため、R T Aにおいて空孔の注入が効率よくでき、BMDを十分に形成できたためである。

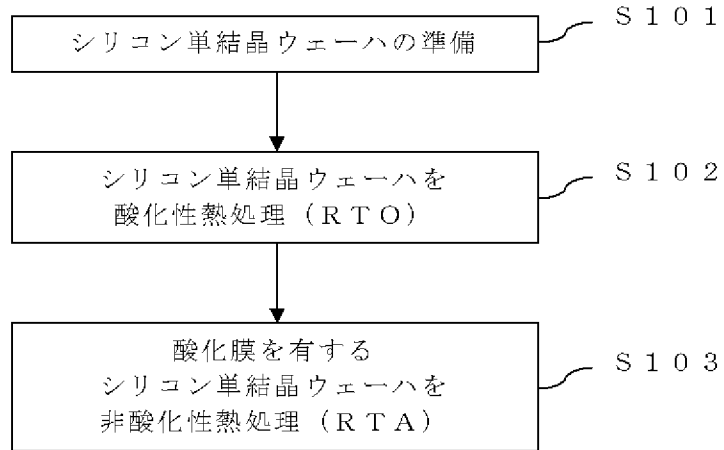
また、T D D BのCモード（真性故障）の評価を行ったところ、良品率は80.9%と実施例1-4に大幅に劣っていた。これは、前述の実施例1-4のように酸化膜を介して空孔を注入していないため、面内でBMDの密度にばらつきが生じたことが原因と考えられる。

[0056] 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。

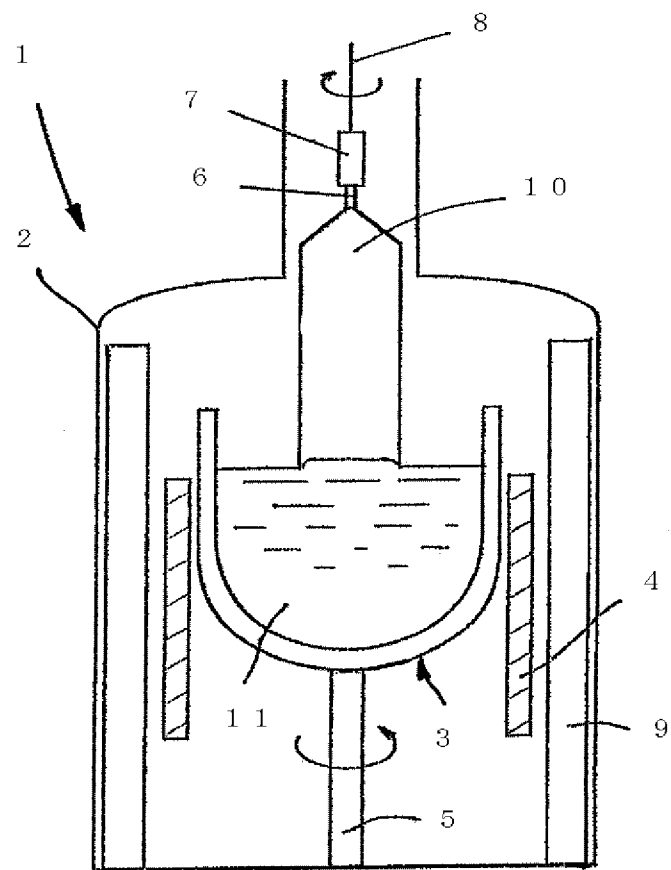
請求の範囲

- [請求項1] シリコン単結晶ウェーハの熱処理方法であって、
- チョクラルスキー法により作製した、径方向の全面がN領域、又は径方向の全面がOSF領域とN領域が混在したシリコン単結晶ウェーハを、1000－1275℃で10－30秒間、酸化性雰囲気下で急速熱処理する酸化性熱処理を実施し、
- 更に、該酸化性熱処理に連続して、当該酸化性熱処理で形成された酸化膜が付いたままのシリコン単結晶ウェーハを、前記酸化性熱処理における熱処理温度以上の温度で10－30秒間、非酸化性雰囲気下で急速熱処理する非酸化性熱処理を実施することを特徴とするシリコン単結晶ウェーハの熱処理方法。
- [請求項2] 前記非酸化性熱処理における熱処理温度を、前記酸化性熱処理の熱処理温度より25℃以上高い温度とすることを特徴とする請求項1に記載のシリコン単結晶ウェーハの熱処理方法。
- [請求項3] 前記酸化性熱処理における熱処理温度を1025℃以上とすることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載のシリコン単結晶ウェーハの熱処理方法。
- [請求項4] 前記酸化性熱処理における酸化性雰囲気を、酸素を含む雰囲気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1項に記載のシリコン単結晶ウェーハの熱処理方法。
- [請求項5] 前記非酸化性熱処理における非酸化性雰囲気を、窒化性雰囲気、Ar雰囲気、またはこれらの混合雰囲気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1項に記載のシリコン単結晶ウェーハの熱処理方法。

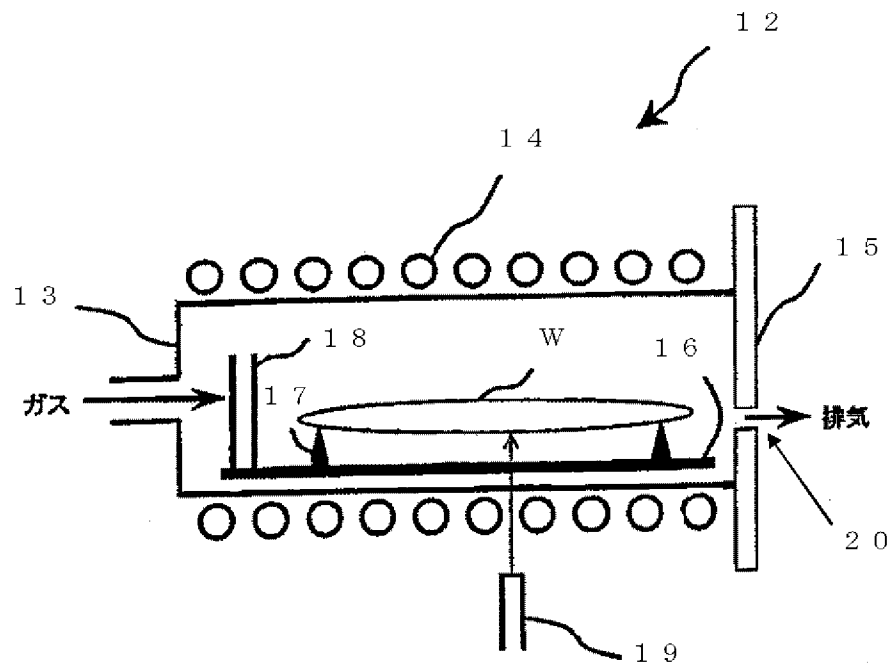
[図1]



[図2]

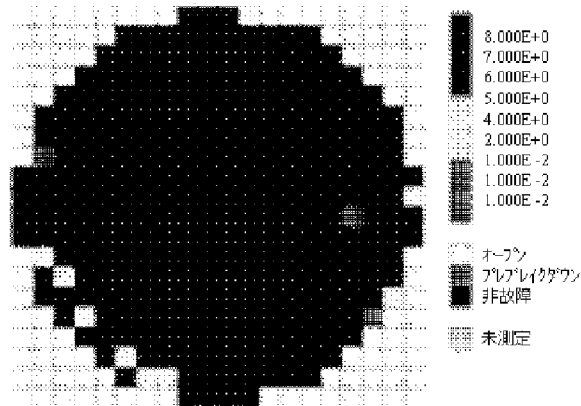


[図3]



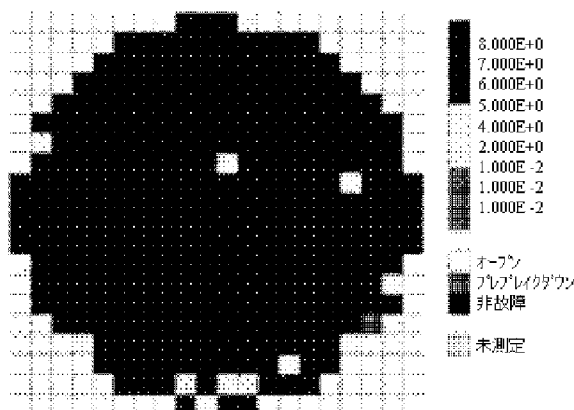
[図4]

(実施例1)

RTO: 100%酸素雰囲気下、
1225℃、10秒。RTA: NH_3/Ar 混合雰囲気下、
1225℃、10秒。

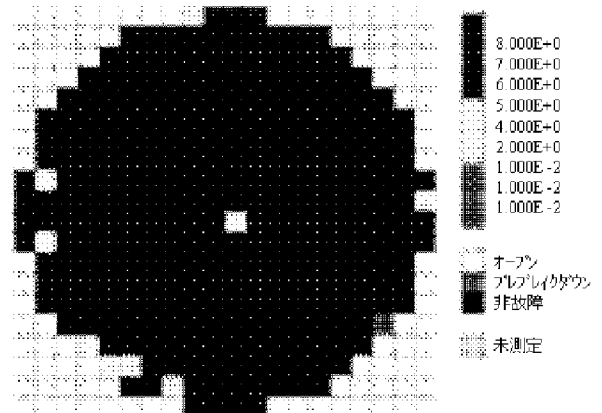
良品率97.8%

(実施例3)

RTO: 100%酸素雰囲気下、
1225℃、10秒。RTA: NH_3/Ar 混合雰囲気下、
1250℃、10秒。

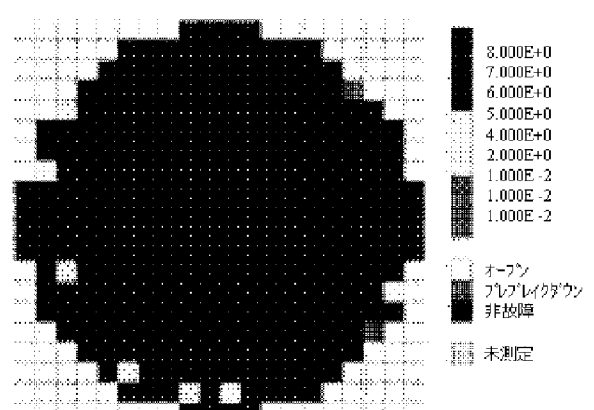
良品率100%

(実施例2)

RTO: 100%酸素雰囲気下、
1250℃、10秒。RTA: NH_3/Ar 混合雰囲気下、
1250℃、10秒。

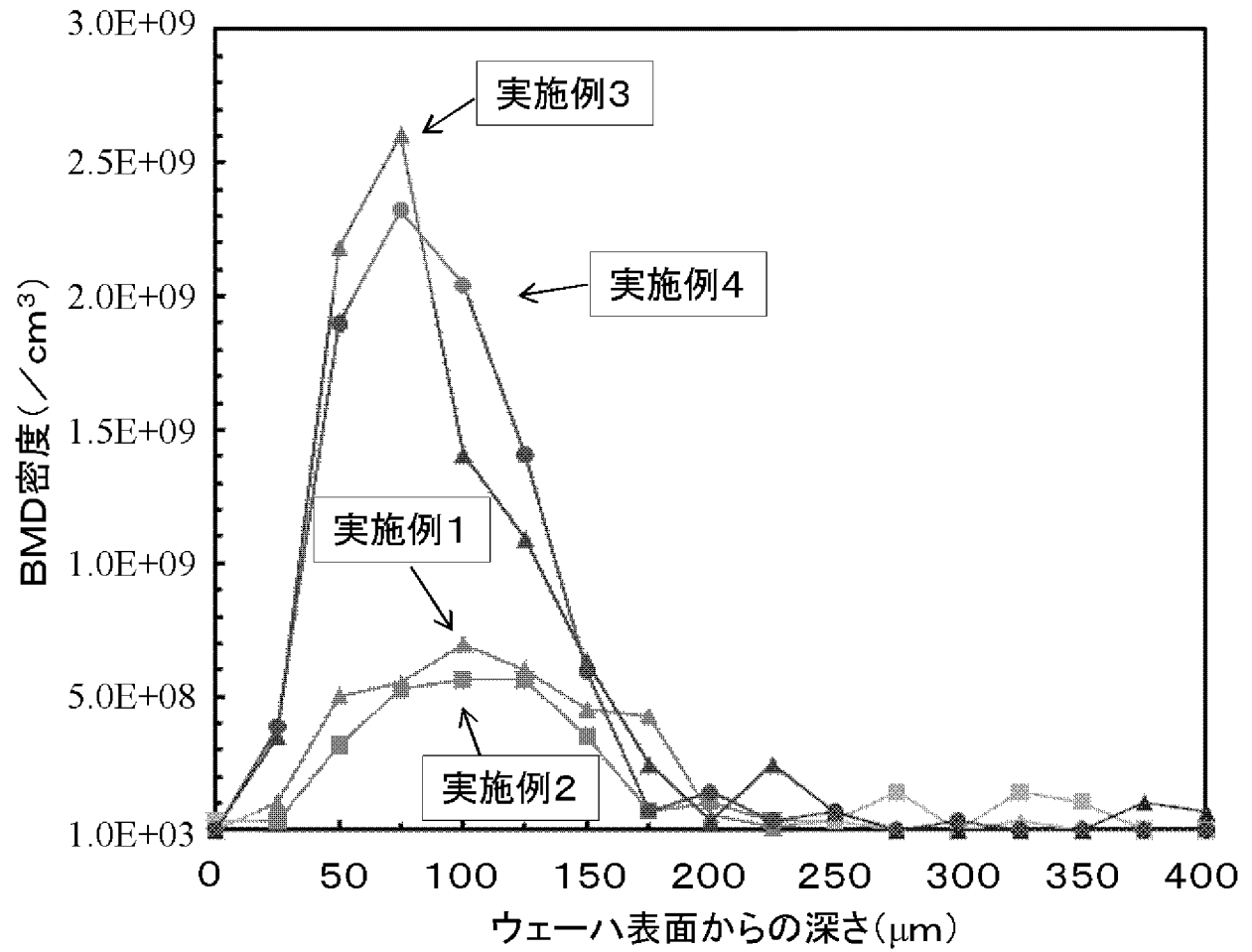
良品率98.0%

(実施例4)

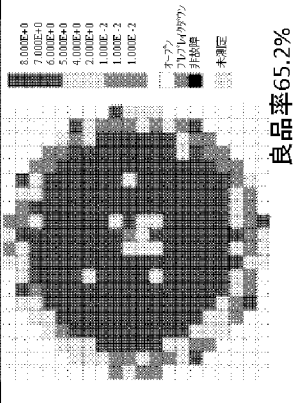
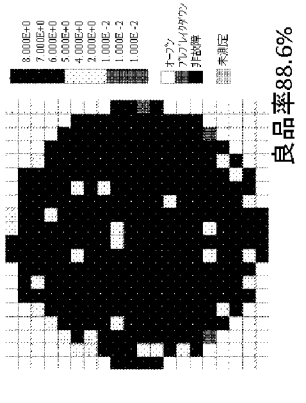
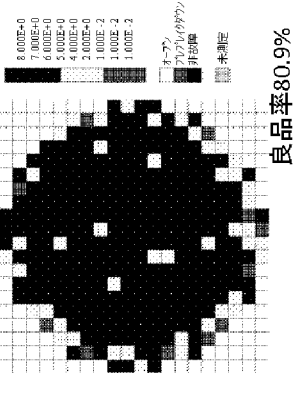
RTO: 100%酸素雰囲気下、
1250℃、10秒。RTA: NH_3/Ar 混合雰囲気下、
1275℃、10秒。

良品率100%

[図5]



[図6]

RTOとRTAの条件	酸化膜の有無	RTA後のBMDピーク値	TADB良品率及び不良マップ
(比較例1) RTO:100%酸素雰囲気下、 980℃、20秒。 RTA: NH ₃ /Ar混合雰囲気下、 1175℃、10秒。	有	1.05E8 /cm ³	
(比較例2) RTO:100%酸素雰囲気下、 1225℃、10秒。 RTA: NH ₃ /Ar混合雰囲気下、 1200℃、10秒。	有	3.5E7 /cm ³	
(比較例3) RTO:100%酸素雰囲気下、 1225℃、10秒。 RTA: NH ₃ /Ar混合雰囲気下、 1225℃、10秒。	無	1.0E9 /cm ³	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/002484

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/322(2006.01)i, C30B29/06(2006.01)i, C30B33/02(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)

H01L21/322, C30B29/06, C30B33/02

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2008-207991 A (Shin-Etsu Handotai Co., Ltd.), 11 September 2008 (11.09.2008), paragraphs [0028], [0039], [0053] to [0056]; fig. 4, 7 & US 2010/0105191 A1 & WO 2008/105136 A1 & DE 112008000486 T5 & CN 101622381 A & KR 10-2009-0116748 A & TW 200845223 A	1-5
A	JP 2001-044193 A (Shin-Etsu Handotai Co., Ltd.), 16 February 2001 (16.02.2001), entire text; all drawings (Family: none)	1-5

☒ 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
06 August 2015 (06.08.15)

Date of mailing of the international search report
18 August 2015 (18.08.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/002484

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013-163597 A (Global Wafers Japan Co., Ltd.), 22 August 2013 (22.08.2013), entire text; all drawings (Family: none)	1-5
A	JP 60-133734 A (Mitsubishi Electric Corp.), 16 July 1985 (16.07.1985), entire text; all drawings & US 4661166 A & DE 3439018 A1	1-5
A	JP 08-273991 A (Sumitomo Sitix Corp.), 18 October 1996 (18.10.1996), entire text; all drawings (Family: none)	1-5

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/322(2006.01)i, C30B29/06(2006.01)i, C30B33/02(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. H01L21/322, C30B29/06, C30B33/02

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 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 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）

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 2008-207991 A (信越半導体株式会社) 2008.09.11, 段落【0028】, 【0039】, 【0053】 - 【0056】, 第4,7図 & US 2010/0105191 A1 & WO 2008/105136 A1 & DE 112008000486 T5 & CN 101622381 A & KR 10-2009-0116748 A & TW 200845223 A	1 - 5
A	JP 2001-044193 A (信越半導体株式会社) 2001.02.16, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1 - 5

☒ 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 6 . 0 8 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

1 8 . 0 8 . 2 0 1 5

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）

桑原 清

5 O

9 3 7 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 5 9

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	JP 2013-163597 A (グローバルウェハーズ・ジャパン株式会社) 2013.08.22, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1 - 5
A	JP 60-133734 A (三菱電機株式会社) 1985.07.16, 全文, 全図 & US 4661166 A & DE 3439018 A1	1 - 5
A	JP 08-273991 A (住友シチックス株式会社) 1996.10.18, 全文, 全 図 (ファミリーなし)	1 - 5