

(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  
2025年3月20日(20.03.2025)



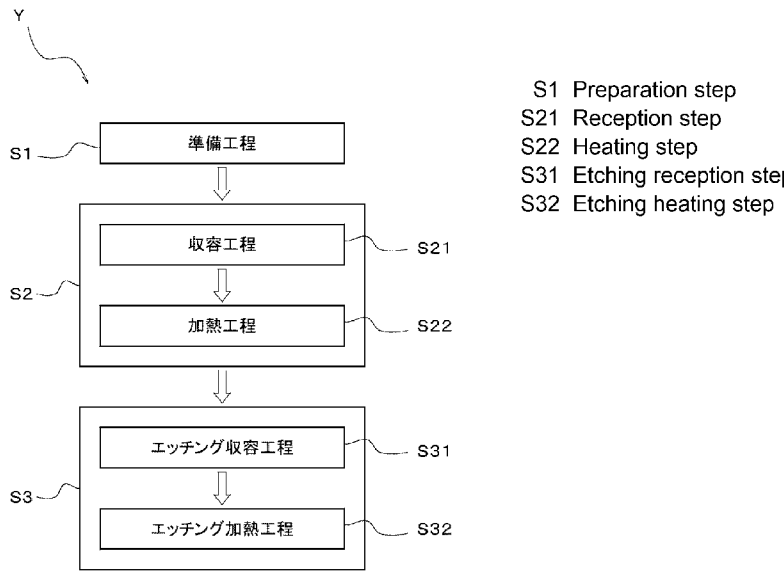
(10) 国際公開番号  
**WO 2025/057772 A1**

- (51) 国際特許分類:  
*C30B 29/36* (2006.01) *C30B 33/12* (2006.01)  
*C30B 23/02* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2024/031153
- (22) 国際出願日: 2024年8月30日(30.08.2024)
- (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 2023-150567 2023年9月15日(15.09.2023) JP
- (71) 出願人: 学校法人関西学院 (KWANSEI GAKUIN EDUCATIONAL FOUNDATION) [JP/JP]; 〒6628501 兵庫県西宮市上ヶ原一番町1番155号 Hyogo (JP). 豊田通商株式会社
- (72) 発明者: 金子 忠昭 (KANEKO, Tadaaki); 〒6691330 兵庫県三田市学園上ヶ原1番 関西学院大学工学部内 Hyogo (JP). 戸田 晃平 (TODA, Kohei); 〒6691330 兵庫県三田市学園上ヶ原1番 関西学院大学工学部内 Hyogo (JP). 堂島 大地 (DOJIMA, Daichi); 〒6691330 兵庫県三田市学園上ヶ原1番 関西学院大学工学部内 Hyogo (JP).
- (74) 代理人: 弁理士法人みなとみらい特許事務所 (MINATO MIRAI PATENT FIRM); 〒2206008 神奈川県横浜市西区みなとみ
- 会社(TOYOTA TSUSHO CORPORATION) [JP/JP]; 〒4508575 愛知県名古屋市中村区名駅4丁目9番8号 Aichi (JP).

(54) Title: METHOD FOR PROCESSING SiC SUBSTRATE, METHOD FOR REMOVING PROCESSING-AFFECTED LAYER OF SiC SUBSTRATE, AND METHOD FOR REDUCING SURFACE ROUGHNESS OF SiC SUBSTRATE

(54) 発明の名称: SiC基板の処理方法、SiC基板の加工変質層を取り除く方法及びSiC基板の表面粗さを低減させる方法

[図10]



(57) Abstract: Provided is a novel method for processing a SiC substrate. Provided is a method for processing a SiC substrate, the method comprising: an annealing step S2 for heating a SiC substrate 1 in an inert gas environment; and an etching step S3 for etching the SiC substrate 1 that has undergone the annealing step S2 in an environment including a

らいニ丁目 3 番 1 号 クイーンズタワ  
ーA 8階 Kanagawa (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (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, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

gas composed of one or both of a Si element and a C element.

(57) 要約 : SiC基板の新規の処理方法を提供する。不活性ガス環境下でSiC基板 1 を加熱するアニール工程 S 2 と、Si元素とC元素の一方又は両方で構成されたガスを含む環境下で、アニール工程 S 2 を経たSiC基板 1 をエッチングするエッチング工程 S 3 と、を備える、SiC基板の処理方法を提供する。

## 明 細 書

発明の名称：

SiC基板の処理方法、SiC基板の加工変質層を取り除く方法及びSiC基板の表面粗さを低減させる方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、SiC基板の処理方法に関する。

### 背景技術

[0002] SiC半導体デバイスの製造において、インゴットから切断されたSiC基板（As-sliced基板）を加工し、基板表面を原子レベルで平坦化することは非常に重要である。従来のSiC基板の加工は、研削（Lapping and/or Grinding）、研磨（Polishing）といった段階を踏むことで、表面粗さを徐々に低減させるものであった。

[0003] しかし、このように加工されたSiC基板には、機械的なダメージが残留していることが知られている。このダメージは、表面の傷としてのみならず、表面から一定深さまでの表層の結晶歪みなどとしても発現する。これらのダメージを含む層は「加工変質層」と呼ばれ、SiC半導体デバイスの性能に大きな悪影響を与える。

[0004] 本発明者らは、従来の加工の諸段階とは異なり、非接触処理によって表面粗さを低減させる方法を発明した。特許文献1には、Si元素を含む気相種及びC元素を含む気相種の蒸気圧の環境下でSiC基板を加熱してエッチングすることで、基板表面のマクロステップバンチングを低減させる方法が記載されている。また、特許文献2には、Si元素を含む気相種及びC元素を含む気相種の蒸気圧の環境下でSiC基板を加熱してエッチングすることで、基板の加工変質層を低減させる方法が記載されている。

### 先行技術文献

### 特許文献

[0005] 特許文献1：国際公開第2020/179793号

特許文献2：国際公開第2020/179794号

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

- [0006] 従来の加工の中終期段階は、特許文献1及び特許文献2に記載の方法で代替することができる。しかし、加工の初期段階では、表面粗さが非常に大きい状態から、表面粗さを大まかに低減させることが要請される。これより、依然として加工の初期段階は、研削、研磨といった接触処理で行われなければならないということが、本技術分野での認識であった。
- [0007] このような状況において、本発明者らは、次のような問題を見出した。すなわち、加工の初期段階こそが、SiC基板に加工変質層を形成し拡大させ、結果として、この加工変質層を加工の中終期段階で取り除くことを困難としている。また、加工の初期段階で発生する原料ロスも顕著であり、SiC半導体デバイス製造の持続可能性を低下させる要因となっている。
- [0008] そこで、本発明は、SiC基板の新規の処理方法を提供することを課題とする。詳述すれば、従来のSiC基板の加工の初期段階を代替可能な非接触処理方法を提供することを課題とする。さらに、この加工の初期段階で発生する原料ロスを低減可能な処理方法を提供することを課題とする。

### 課題を解決するための手段

- [0009] 上記課題を達成するための本発明の実施形態の一つは、SiC基板の処理方法であって、次の方法[1]～[82]である。
- [0010] 方法[1]は、不活性ガス環境下でSiC基板を加熱するアニール工程と、Si元素とC元素の一方又は両方で構成されたガスを含む環境下で、アニール工程を経たSiC基板をエッチングするエッチング工程と、を備える、SiC基板の処理方法である。方法[1]では、SiC基板の表面で昇華反応と再結晶反応の双方を強く促進させることで、SiC基板の表層と環境との間で原子を激しく入れ替える、すなわち、SiC基板の表層を構成する原子の新陳代謝を強く促進させることができる。これより、表層に含まれる加工変質層を、短時間で取り除くことができる。また、新陳代謝の過程でSiC基板の表層が均されることで、

表面粗さが小さいSiC基板が実現される。その後、SiC基板をエッチングすることで、表面粗さが大きいSiC基板であっても、非接触処理により、表面粗さが顕著に小さいSiC基板が実現される。

[0011] 方法 [2] は、方法 [1] であって、アニール工程は、SiCで構成された坩堝の内部でSiC基板を加熱することを含み、アニール工程において、坩堝の内部は、不活性ガス環境に保持されている、SiC基板の処理方法である。

[0012] 方法 [3] は、方法 [1] 又は [2] であって、アニール工程は、SiC基板の一方の表面をエッチングし、同時に、SiC基板の他方の表面を成長させることを含む、SiC基板の処理方法である。

[0013] 方法 [4] は、方法 [3] であって、アニール工程は、一方の表面でのエッチング量を、他方の表面での成長量に対して略同一とすることで、アニール工程の前後で、SiC基板の基板厚を略同一とすることを含む、SiC基板の処理方法である。

[0014] 方法 [5] は、方法 [3] 又は [4] であって、アニール工程は、一方の表面でのエッチング量を、他方の表面での成長量に対して小さくすることで、アニール工程の前後で、SiC基板の基板厚を増加させることを含む、SiC基板の処理方法である。

[0015] 方法 [6] は、方法 [2] ~ [5] の何れか一つであって、アニール工程において、坩堝は、開口を有する基体と、蓋と、を備え、坩堝の内部は、基体の開口が蓋で覆われることで形成される、SiC基板の処理方法である。

[0016] 方法 [7] は、方法 [2] ~ [6] の何れか一つであって、アニール工程において、SiC基板は、基板支持具に支持されている、SiC基板の処理方法である。

[0017] 方法 [8] は、方法 [2] ~ [7] の何れか一つであって、アニール工程において、坩堝の内部の圧力は、1 kPa以上である、SiC基板の処理方法である。

[0018] 方法 [9] は、方法 [2] ~ [7] の何れか一つであって、アニール工程において、坩堝の内部の圧力は、5 kPa以上である、SiC基板の処理方法であ

る。

- [0019] 方法 [10] は、方法 [2] ~ [7] の何れか一つであって、アニール工程において、坩堝の内部の圧力は、10 kPa以上である、SiC基板の処理方法である。
- [0020] 方法 [11] は、方法 [2] ~ [10] の何れか一つであって、アニール工程において、坩堝の内部の温度は、1800°C以上である、SiC基板の処理方法である。
- [0021] 方法 [12] は、方法 [2] ~ [10] の何れか一つであって、アニール工程において、坩堝の内部の温度は、2000°C以上である、SiC基板の処理方法である。
- [0022] 方法 [13] は、方法 [2] ~ [10] の何れか一つであって、アニール工程において、坩堝の内部の温度は、2200°C以上である、SiC基板の処理方法である。
- [0023] 方法 [14] は、方法 [2] ~ [13] の何れか一つであって、アニール工程において、坩堝の内部の圧力と温度の組み合わせは、1 kPa以上と1800°C以上の組み合わせである、SiC基板の処理方法である。
- [0024] 方法 [15] は、方法 [2] ~ [13] の何れか一つであって、アニール工程において、坩堝の内部の圧力と温度の組み合わせは、5 kPa以上と2000°C以上の組み合わせである、SiC基板の処理方法である。
- [0025] 方法 [16] は、方法 [2] ~ [13] の何れか一つであって、アニール工程において、坩堝の内部の圧力と温度の組み合わせは、5 kPa以上と2200°C以上の組み合わせである、SiC基板の処理方法である。
- [0026] 方法 [17] は、方法 [2] ~ [13] の何れか一つであって、アニール工程において、坩堝の内部の圧力と温度の組み合わせは、10 kPa以上と2200°C以上の組み合わせである、SiC基板の処理方法である。
- [0027] 方法 [18] は、方法 [2] ~ [17] の何れか一つであって、アニール工程において、坩堝の内部には、SiC基板を貫く方向で温度勾配が形成されている、SiC基板の処理方法である。

- [0028] 方法 [19] は、方法 [18] であって、アニール工程において、温度勾配は、SiC基板のC面の側からSi面の側へ向かうにつれ温度が低くなる向きで形成されている、SiC基板の処理方法である。
- [0029] 方法 [20] は、方法 [2] ~ [19] の何れか一つであって、アニール工程は、坩堝の内部にSiC基板を收容する收容工程を備え、アニール工程において、坩堝は、開口を有する基体と、蓋と、を備え、收容工程は、基体の開口からSiC基板を入れ、基体に蓋を載置し基体の開口を覆うことで、坩堝の内部にSiC基板を收容することを含む、SiC基板の処理方法である。
- [0030] 方法 [21] は、方法 [2] ~ [20] の何れか一つであって、アニール工程は、坩堝の内部にSiC基板を收容する收容工程を備え、收容工程は、基板支持具でSiC基板を坩堝の内部の中空に支持することを含む、SiC基板の処理方法である。
- [0031] 方法 [22] は、方法 [2] ~ [21] の何れか一つであって、アニール工程は、坩堝を加熱する加熱工程を備え、加熱工程は、坩堝を加熱し、坩堝から坩堝の内部に、Si元素とC元素の一方又は両方で構成された原料ガスを発生させることを含む、SiC基板の処理方法である。
- [0032] 方法 [23] は、方法 [2] ~ [22] の何れか一つであって、アニール工程は、坩堝を加熱する加熱工程を備え、加熱工程は、坩堝の内部に不活性ガスを導入し、坩堝の内部の圧力を1 kPa以上に保持することを含む、SiC基板の処理方法である。
- [0033] 方法 [24] は、方法 [2] ~ [22] の何れか一つであって、アニール工程は、坩堝を加熱する加熱工程を備え、加熱工程は、坩堝の内部に不活性ガスを導入し、坩堝の内部の圧力を5 kPa以上に保持することを含む、SiC基板の処理方法である。
- [0034] 方法 [25] は、方法 [2] ~ [22] の何れか一つであって、アニール工程は、坩堝を加熱する加熱工程を備え、加熱工程は、坩堝の内部に不活性ガスを導入し、坩堝の内部の圧力を10 kPa以上に保持することを含む、SiC基板の処理方法である。

- [0035] 方法 [26] は、方法 [2] ~ [25] の何れか一つであって、アニール工程は、坩堝を加熱する加熱工程を備え、加熱工程は、坩堝を加熱し、坩堝の内部の温度を1800℃以上に保持することを含む、SiC基板の処理方法である。
- [0036] 方法 [27] は、方法 [2] ~ [25] の何れか一つであって、アニール工程は、坩堝を加熱する加熱工程を備え、加熱工程は、坩堝を加熱し、坩堝の内部の温度を2000℃以上に保持することを含む、SiC基板の処理方法である。
- [0037] 方法 [28] は、方法 [2] ~ [25] の何れか一つであって、アニール工程は、坩堝を加熱する加熱工程を備え、加熱工程は、坩堝を加熱し、坩堝の内部の温度を2200℃以上に保持することを含む、SiC基板の処理方法である。
- [0038] 方法 [29] は、方法 [2] ~ [28] の何れか一つであって、アニール工程は、坩堝を加熱する加熱工程を備え、加熱工程は、坩堝の内部に不活性ガスを導入し、坩堝の内部の圧力を1 kPa以上に保持することと、坩堝を加熱し、坩堝の内部の温度を1800℃以上に保持することと、を含む、SiC基板の処理方法である。
- [0039] 方法 [30] は、方法 [2] ~ [28] の何れか一つであって、アニール工程は、坩堝を加熱する加熱工程を備え、加熱工程は、坩堝の内部に不活性ガスを導入し、坩堝の内部の圧力を5 kPa以上に保持することと、坩堝を加熱し、坩堝の内部の温度を2000℃以上に保持することと、を含む、SiC基板の処理方法である。
- [0040] 方法 [31] は、方法 [2] ~ [28] の何れか一つであって、アニール工程は、坩堝を加熱する加熱工程を備え、加熱工程は、坩堝の内部に不活性ガスを導入し、坩堝の内部の圧力を5 kPa以上に保持することと、坩堝を加熱し、坩堝の内部の温度を2200℃以上に保持することと、を含む、SiC基板の処理方法である。
- [0041] 方法 [32] は、方法 [2] ~ [28] の何れか一つであって、アニール

工程は、坩堝を加熱する加熱工程を備え、加熱工程は、坩堝の内部に不活性ガスを導入し、坩堝の内部の圧力を10 kPa以上に保持することと、坩堝を加熱し、坩堝の内部の温度を2200°C以上に保持することと、を含む、SiC基板の処理方法である。

[0042] 方法 [33] は、方法 [2] ~ [32] の何れか一つであって、アニール工程は、坩堝を加熱する加熱工程を備え、加熱工程は、坩堝の内部にSiC基板を貫く方向で温度勾配を形成することを含む、SiC基板の処理方法である。

[0043] 方法 [34] は、方法 [33] であって、加熱工程は、SiC基板のC面の側からSi面の側へ向かうにつれ温度が低くなる向きで温度勾配を形成することを含む、SiC基板の処理方法である。

[0044] 方法 [35] は、方法 [1] ~ [34] の何れか一つであって、アニール工程において、SiC基板の表面には、保護膜が形成されていない、SiC基板の処理方法である。

[0045] 方法 [36] は、方法 [1] ~ [35] の何れか一つであって、エッチング工程は、SiCで構成された坩堝の内部でSiC基板を加熱することを含み、エッチング工程において、坩堝の内部は、Si元素とC元素の一方又は両方からなるガスを含む環境に保持されている、SiC基板の処理方法である。

[0046] 方法 [37] は、方法 [36] であって、エッチング工程において、坩堝の内部は、SiC-C平衡蒸気圧環境に保持されている、SiC基板の処理方法である。

[0047] 方法 [38] は、方法 [37] であって、エッチング工程において、坩堝の内部の温度は、1600°C以上かつ2000°C以下である、SiC基板の処理方法である。

[0048] 方法 [39] は、方法 [38] であって、エッチング工程において、坩堝の内部の温度は、アニール工程における坩堝の内部の温度より低い、SiC基板の処理方法である。

[0049] 方法 [40] は、方法 [36] であって、エッチング工程において、坩堝の内部は、SiC-Si平衡蒸気圧環境に保持されている、SiC基板の処理方法である。

ある。

- [0050] 方法 [41] は、方法 [40] であって、エッチング工程において、坩堝の内部の温度は、1800℃以上かつ2000℃以下である、SiC基板の処理方法である。
- [0051] 方法 [42] は、方法 [41] であって、エッチング工程において、坩堝の内部の温度は、アニール工程における坩堝の内部の温度より低い、SiC基板の処理方法である。
- [0052] 方法 [43] は、方法 [36] ~ [42] の何れか一つであって、エッチング工程において、坩堝の内部には、SiC基板を貫く方向かつSiC基板のC面の側からSi面の側へ向かうにつれ温度が低くなる向きで温度勾配が形成されている、SiC基板の処理方法である。
- [0053] 方法 [44] は、方法 [36] ~ [39] 又は [43] の何れか一つであって、エッチング工程は、坩堝の内部にSiC基板を収容するエッチング収容工程と、坩堝を加熱するエッチング加熱工程と、を有し、エッチング加熱工程は、坩堝の内部をSiC-C平衡蒸気圧環境に保持することを含む、SiC基板の処理方法である。
- [0054] 方法 [45] は、方法 [44] であって、エッチング加熱工程は、坩堝を加熱し、坩堝から坩堝の内部に、Si元素とC元素の一方又は両方からなるガスを発生させることで、坩堝の内部をSiC-C平衡蒸気圧環境に保持することを含む、SiC基板の処理方法である。
- [0055] 方法 [46] は、方法 [44] 又は [45] であって、エッチング加熱工程は、坩堝を加熱し、坩堝の内部の温度を1600℃以上かつ2000℃以下に保持することを含む、SiC基板の処理方法である。
- [0056] 方法 [47] は、方法 [46] であって、エッチング加熱工程は、坩堝を加熱し、坩堝の内部の温度を、アニール工程における坩堝の内部の温度より低く保持することを含む、SiC基板の処理方法である。
- [0057] 方法 [48] は、方法 [36] 又は [40] ~ [43] の何れか一つであって、エッチング工程は、坩堝の内部にSiC基板を収容するエッチング収容工

程と、坩堝を加熱するエッチング加熱工程と、を有し、エッチング加熱工程は、坩堝の内部をSiC-Si平衡蒸気圧環境に保持することを含み、SiC基板の処理方法である。

[0058] 方法 [49] は、方法 [48] であって、エッチング収容工程は、坩堝の内部に、SiC基板とともにSiガス源を収容することを含み、エッチング加熱工程は、Siガス源とともに坩堝を加熱し、坩堝から坩堝の内部にSi元素とC元素の一方又は両方からなるガスを発生させるとともに、Siガス源から坩堝の内部にSiガスを発生させることで、坩堝の内部をSiC-Si平衡蒸気圧環境に保持することを含み、SiC基板の処理方法である。

[0059] 方法 [50] は、方法 [48] 又は [49] であって、エッチング加熱工程は、坩堝を加熱し、坩堝の内部の温度を1800℃以上かつ2000℃以下に保持することを含み、SiC基板の処理方法である。

[0060] 方法 [51] は、方法 [50] であって、エッチング加熱工程は、坩堝を加熱し、坩堝の内部の温度を、アニール工程における坩堝の内部の温度より低く保持することを含み、SiC基板の処理方法である。

[0061] 方法 [52] は、方法 [36] ~ [51] の何れか一つであって、エッチング工程は、坩堝を加熱するエッチング加熱工程を有し、エッチング加熱工程は、坩堝の内部に、SiC基板を貫く方向かつSiC基板のC面の側からSi面の側へ向かうにつれ温度が低くなる向きで温度勾配を形成することを含み、SiC基板の処理方法である。

[0062] 方法 [53] は、方法 [36] ~ [52] の何れか一つであって、エッチング工程の後に、SiC基板に機械処理を行う工程を備えない、SiC基板の処理方法である。

[0063] 方法 [54] は、方法 [36] ~ [53] の何れか一つであって、エッチング工程は、第1エッチング工程と、第2エッチング工程と、の少なくとも2回行われ、第1エッチング工程は、アニール工程を経たSiC基板をエッチングすることを含み、第2エッチング工程は、第1エッチング工程を経たSiC基板をエッチングすることを含み、第1エッチング工程において、坩堝の内部

は、SiC-C平衡蒸気圧環境に保持され、第2エッチング工程において、坩堝の内部は、SiC-Si平衡蒸気圧環境に保持されている、SiC基板の処理方法である。

[0064] 方法 [55] は、方法 [54] であって、第1エッチング工程において、坩堝の内部の温度は、1600°C以上かつ2000°C以下であり、第2エッチング工程において、坩堝の内部の温度は、1800°C以上かつ2000°C以下である、SiC基板の処理方法である。

[0065] 方法 [56] は、方法 [55] であって、第1エッチング工程において、坩堝の内部の温度は、アニール工程における坩堝の内部の温度より低く、第2エッチング工程において、坩堝の内部の温度は、アニール工程における坩堝の内部の温度より低く、かつ、第1エッチング工程における坩堝の内部の温度より高い、SiC基板の処理方法である。

[0066] 方法 [57] は、方法 [54] ~ [56] の何れか一つであって、第1エッチング工程において、坩堝の内部には、SiC基板を貫く方向かつSiC基板のC面の側からSi面の側へ向かうにつれ温度が低くなる向きで温度勾配が形成され、第2エッチング工程において、坩堝の内部には、SiC基板を貫く方向かつSiC基板のC面の側からSi面の側へ向かうにつれ温度が低くなる向きで温度勾配が形成されている、SiC基板の処理方法である。

[0067] 方法 [58] は、方法 [54] ~ [57] の何れか一つであって、第2エッチング工程の後に、SiC基板に機械処理を行う工程を備えない、SiC基板の処理方法である。

[0068] 方法 [59] は、方法 [1] ~ [58] の何れか一つであって、Si元素とC元素の一方又は両方で構成されたガスを含む環境下で、エッチング工程を経たSiC基板を成長させる成長工程と、を備える、SiC基板の処理方法である。

[0069] 方法 [60] は、方法 [59] であって、成長工程は、SiCで構成された坩堝の内部でSiC基板を加熱することを含み、成長工程において、坩堝の内部は、Si元素とC元素の一方又は両方からなるガスを含む環境に保持されている、SiC基板の処理方法である。

- [0070] 方法 [61] は、方法 [60] であって、成長工程において、坩堝の内部は、SiC-C平衡蒸気圧環境に保持されている、SiC基板の処理方法である。
- [0071] 方法 [62] は、方法 [61] であって、成長工程において、坩堝の内部の温度は、1600°C以上かつ2000°C以下である、SiC基板の処理方法である。
- [0072] 方法 [63] は、方法 [62] であって、成長工程において、坩堝の内部の温度は、アニール工程における坩堝の内部の温度より低い、SiC基板の処理方法である。
- [0073] 方法 [64] は、方法 [60] であって、成長工程において、坩堝の内部は、SiC-Si平衡蒸気圧環境に保持されている、SiC基板の処理方法である。
- [0074] 方法 [65] は、方法 [64] であって、成長工程において、坩堝の内部の温度は、1800°C以上かつ2000°C以下である、SiC基板の処理方法である。
- [0075] 方法 [66] は、方法 [65] であって、成長工程において、坩堝の内部の温度は、アニール工程における坩堝の内部の温度より低い、SiC基板の処理方法である。
- [0076] 方法 [67] は、方法 [60] ~ [66] の何れか一つであって、成長工程において、坩堝の内部には、SiC基板を貫く方向かつSiC基板のSi面の側からC面の側へ向かうにつれ温度が低くなる向きで温度勾配が形成されている、SiC基板の処理方法である。
- [0077] 方法 [68] は、方法 [60] ~ [63] 又は [67] の何れか一つであって、成長工程は、坩堝の内部にSiC基板を収容する成長収容工程と、坩堝を加熱する成長加熱工程と、を有し、成長加熱工程は、坩堝の内部をSiC-C平衡蒸気圧環境に保持することを含む、SiC基板の処理方法である。
- [0078] 方法 [69] は、方法 [68] であって、成長加熱工程は、坩堝を加熱し、坩堝から坩堝の内部に、Si元素とC元素の一方又は両方からなるガスを発生させることで、坩堝の内部をSiC-C平衡蒸気圧環境に保持することを含む、SiC基板の処理方法である。
- [0079] 方法 [70] は、方法 [68] 又は [69] であって、成長加熱工程は、坩堝を加熱し、坩堝の内部の温度を1600°C以上かつ2000°C以下に保持するこ

とを含む、SiC基板の処理方法である。

[0080] 方法 [71] は、方法 [70] であって、成長加熱工程は、坩堝を加熱し、坩堝の内部の温度を、アニール工程における坩堝の内部の温度より低く保持することを、SiC基板の処理方法である。

[0081] 方法 [72] は、方法 [60] 又は [64] ~ [67] の何れか一つであって、成長工程は、坩堝の内部にSiC基板を収容する成長収容工程と、坩堝を加熱する成長加熱工程と、を有し、成長加熱工程は、坩堝の内部をSiC-Si平衡蒸気圧環境に保持することを、SiC基板の処理方法である。

[0082] 方法 [73] は、方法 [72] であって、成長収容工程は、坩堝の内部に、SiC基板とともにSiガス源を収容することを、成長加熱工程は、Siガス源とともに坩堝を加熱し、坩堝から坩堝の内部にSi元素とC元素の一方又は両方からなるガスを発生させるとともに、Siガス源から坩堝の内部にSiガスを発生させることで、坩堝の内部をSiC-Si平衡蒸気圧環境に保持することを、SiC基板の処理方法である。

[0083] 方法 [74] は、方法 [72] 又は [73] であって、成長加熱工程は、坩堝を加熱し、坩堝の内部の温度を1800°C以上かつ2000°C以下に保持することを、SiC基板の処理方法である。

[0084] 方法 [75] は、方法 [74] であって、成長加熱工程は、坩堝を加熱し、坩堝の内部の温度を、アニール工程における坩堝の内部の温度より低く保持することを、SiC基板の処理方法である。

[0085] 方法 [76] は、方法 [60] ~ [75] の何れか一つであって、成長工程は、坩堝を加熱する成長加熱工程を有し、成長加熱工程は、坩堝の内部に、SiC基板を貫く方向かつSiC基板のSi面の側からC面の側へ向かうにつれ温度が低くなる向きで温度勾配を形成することを、SiC基板の処理方法である。

[0086] 方法 [77] は、方法 [60] ~ [76] の何れか一つであって、成長工程の後に、SiC基板に機械処理を行う工程を備えない、SiC基板の処理方法である。

- [0087] 方法 [78] は、方法 [60] ~ [77] の何れか一つであって、成長工程は、第1成長工程と、第2成長工程と、の少なくとも2回行われ、第1成長工程は、エッチング工程を経たSiC基板を成長させることを含み、第2成長工程は、第1成長工程を経たSiC基板を成長させることを含み、第1成長工程において、坩堝の内部は、SiC-C平衡蒸気圧環境に保持され、第2成長工程において、坩堝の内部は、SiC-Si平衡蒸気圧環境に保持されている、SiC基板の処理方法である。
- [0088] 方法 [79] は、方法 [78] であって、第1成長工程において、坩堝の内部の温度は、1600°C以上かつ2000°C以下であり、第2成長工程において、坩堝の内部の温度は、1800°C以上かつ2000°C以下である、SiC基板の処理方法である。
- [0089] 方法 [80] は、方法 [79] であって、第1成長工程において、坩堝の内部の温度は、アニール工程における坩堝の内部の温度より低く、第2成長工程において、坩堝の内部の温度は、アニール工程における坩堝の内部の温度より低く、かつ、第1成長工程における坩堝の内部の温度より高い、SiC基板の処理方法である。
- [0090] 方法 [81] は、方法 [78] ~ [80] の何れか一つであって、第1成長工程において、坩堝の内部には、SiC基板を貫く方向かつSiC基板のSi面の側からC面の側へ向かうにつれ温度が低くなる向きで温度勾配が形成され、第2成長工程において、坩堝の内部には、SiC基板を貫く方向かつSiC基板のSi面の側からC面の側へ向かうにつれ温度が低くなる向きで温度勾配が形成されている、SiC基板の処理方法である。
- [0091] 方法 [82] は、方法 [78] ~ [81] の何れか一つであって、第2エッチング工程の後に、SiC基板に機械処理を行う工程を備えない、SiC基板の処理方法である。
- [0092] また、上記課題を達成するための本発明の実施形態の一つは、SiC基板の加工変質層を取り除く方法であって、次の方法 [83] ~ [85] である。
- [0093] 方法 [83] は、加工変質層を有するSiC基板に対し、方法 [1] ~ [82]

]の何れか一つを行い、加工変質層を取り除くことを含む、SiC基板の加工変質層を取り除く方法である。

[0094] 方法[84]は、方法[83]であって、機械処理により加工変質層が形成されたSiC基板に対し、方法[1]～[82]の何れか一つを行うことを含む、SiC基板の加工変質層を取り除く方法である。

[0095] 方法[85]は、方法[83]又は[84]であって、アニール工程は、SiC基板の表層と不活性ガス環境との間で原子を入れ替え、加工変質層を取り除くことを含む、SiC基板の加工変質層を取り除く方法である。

[0096] また、上記課題を達成するための本発明の実施形態の一つは、SiC基板の表面粗さを低減させる方法であって、次の方法[86]～[88]である。

[0097] 方法[86]は、Si面の算術平均粗さRaが15 nm以上であるSiC基板に対し、方法[1]～[82]の何れか一つを行い、算術平均粗さRaを低減させることを含む、SiC基板の表面粗さを低減させる方法である。

[0098] 方法[87]は、方法[86]であって、機械処理を経たSiC基板に対し、方法[1]～[82]の何れか一つを行うことを含む、SiC基板の表面粗さを低減させる方法である。

[0099] 方法[88]は、方法[86]又は[87]であって、アニール工程は、SiC基板の表層と不活性ガス環境との間で原子を入れ替え、表層を均すことを含む、SiC基板の表面粗さを低減させる方法である。

## 発明の効果

[0100] 本発明によれば、SiC基板の新規の処理方法を提供することができる。詳述すれば、従来のSiC基板の加工の初期段階を代替可能な非接触処理方法を提供することができる。さらに、この加工の初期段階で発生する原料ロスを低減可能な処理方法を提供することができる。

## 図面の簡単な説明

[0101] [図1]本発明の実施形態の処理方法の概念の説明図である。

[図2]本発明の実施形態の処理方法の概念の説明図である。

[図3]本発明の実施形態の処理方法の概念の説明図である。

- [図4]本発明の実施形態の処理方法の概念の説明図である。
- [図5]本発明の実施形態の処理方法の概念の説明図である。
- [図6]本発明の実施形態の第1の好ましい形態の説明図である。
- [図7]本発明の実施形態の第1の好ましい形態の変更例の説明図である。
- [図8]本発明の実施形態の第1の好ましい形態の説明図である。
- [図9]本発明の実施形態の第2の好ましい形態の説明図である。
- [図10]本発明の実施形態の第2の好ましい形態の説明図である。
- [図11]本発明の実施形態の第3の好ましい形態の説明図である。
- [図12]本発明の実施形態の第4の好ましい形態の説明図である。
- [図13]本発明の実施形態の第5の好ましい形態の説明図である。
- [図14]本発明の実施例の結果の説明図である。
- [図15]本発明の実施例の結果の説明図である。
- [図16]本発明の実施例の結果の説明図である。
- [図17]本発明の実施例の結果の説明図である。

### 発明を実施するための形態

- [0102] 本発明の実施形態の一つは、SiC基板の処理方法である。本処理方法は、SiCで構成された坩堝の内部でSiC基板を加熱するアニール工程を備える。
- [0103] 本処理方法のアニール工程において、坩堝の内部は、不活性ガス環境に保持されている。「不活性ガス環境」という語は、不活性ガスを含む環境を指す。不活性ガスの例として、Arガス、N<sub>2</sub>ガスが挙げられる。本処理方法の不活性ガス環境は、不活性ガスとしてArガスを含む。ここで、不活性ガスの大半がArガスであることが好ましく、不活性ガスの略全体がArガスであることも好ましい。なお、不活性ガスの一部がN<sub>2</sub>ガスであってもよい。すなわち、本処理方法のアニール工程は、不活性ガス環境下でSiC基板をアニールする工程であるといえる。
- [0104] 以下では、本処理方法の概念について、図1～5を参照しながら詳述する。図1～5は、SiC基板1と、SiC基板の表面11（Si面111及びC面112）と、SiC基板が有する加工変質層12と、SiCで構成された坩堝2と、坩堝

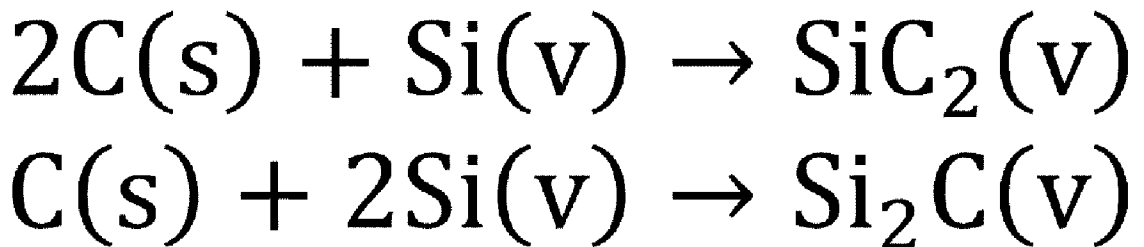
2の基体21及び蓋22と、を示している。「加工変質層」という語は、機械処理によるダメージを含み、SiC半導体デバイスの性能に悪影響を与えるおそれが高い層を指す。加工変質層の例として、デバイスが将来形成されるSi面111の側における、機械処理を経た表層が挙げられる。「機械処理」という語は、基板の原子配列を物理的に破壊する処理を指す。機械処理の例として、インゴット切断（例えば、マルチワイヤーソー切断、レーザー切断、放電切断）、研削、研磨（例えば、機械研磨、化学機械研磨）が挙げられる。

[0105] SiC基板1を加熱することで、一例として、化1～3に表される反応が起こる。すなわち、SiC基板1を加熱することで、SiC基板1からの原料ガスの昇華や、原料ガスのSiC基板1への再結晶化が起こる。「原料ガス」という語は、Si元素とC元素の一方又は両方で構成されたガスを指す。原料ガスの例として、Siガス、SiC<sub>2</sub>ガス、Si<sub>2</sub>Cガス、これらの混合ガスが挙げられる。

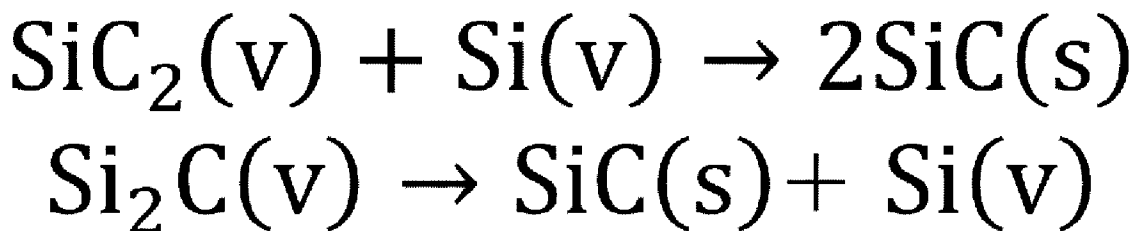
[0106] [化1]



[0107] [化2]



[0108] [化3]



[0109] 化1の反応は、熱分解反応に相当する。熱分解反応では、SiガスがSiC基板

1 から脱離し、CがSiC基板 1 に残存する。熱分解反応が支配的である場合、SiC基板 1 は炭化する。

[0110] 化2の反応は、昇華反応に相当する。昇華反応では、SiC基板 1 のCが原料ガスとして昇華する。昇華反応が支配的である場合、SiC基板 1 はエッチングされる。

[0111] 化3の反応は、再結晶反応に相当する。再結晶反応では、原料ガスがSiC基板 1 に再結晶化する。再結晶反応が支配的である場合、SiC基板 1 は成長する。

[0112] 本処理方法は、昇華反応と再結晶反応の双方を強く促進させることで、SiC基板 1 の表層とアニール環境との間で原子を激しく入れ替える、すなわち、SiC基板 1 の表層を構成する原子の新陳代謝を強く促進させるという思想に基づく。「表層」という語は、表面から所定の深さまでの範囲の層を指す。

[0113] 図1に示すように、本処理方法は、表面11から深さdまでの範囲の表層を構成する原子の新陳代謝を引き起こすことを含む。深さdは、昇華反応と再結晶反応の激しさに依る。これより、表面11から深さdまでの範囲に含まれる加工変質層12を、短時間で取り除くことができる。また、新陳代謝の過程でSiC基板 1 の表層が均されることで、表面粗さが小さいSiC基板 1 が実現される。すなわち、本処理方法は、SiC基板 1 の加工変質層12を取り除く方法としても、SiC基板 1 の表面11の粗さを低減させる方法としても、用いることができる。

[0114] 昇華反応が再結晶反応より支配的である場合、SiC基板 1 の表層を構成する原子は巨視的に減少し、表面11はエッチングされる。ここで、本処理方法でのエッチングでは、微視的な原子の減少及び増加の均衡が減少に偏ることで、巨視的な原子の減少が生じている。これと比較して、従来のエッチングでは、微視的な原子の減少が繰り返されることで、巨視的な原子の減少が生じている。

[0115] 再結晶反応が昇華反応より支配的である場合、SiC基板 1 の表層を構成する原子が巨視的に増加し、表面11は成長する。ここで、本処理方法での成長

では、微視的な原子の減少及び増加の均衡が増加に偏ることで、巨視的な原子の増加が生じている。これと比較して、従来の成長では、微視的な原子の増加が繰り返されることで、巨視的な原子の増加が生じている。

[0116] 本処理方法でのエッチング及び成長では、常に、表面11から深さdまでの範囲に含まれる加工変質層12を取り除くことができる。これより、本処理方法のエッチングでは、エッチング範囲よりも広い範囲で加工変質層12を取り除くことができる。また、本処理方法の成長では、加工変質層12の影響が除かれた成長層を、単独の工程で形成することができる。これと比較して、従来のエッチングでは、エッチング範囲に含まれない加工変質層を取り除くことができず、また、従来の成長では、一切の加工変質層を取り除くことができない。すなわち、従来の方法で加工変質層によるデバイスへの悪影響を除くには、加工変質層が含まれる範囲の表層すべてをエッチングし、その後に成長層を形成する必要がある。

[0117] 本処理方法は、原料ガスの巨視的な流れを制御することで、表面11のエッチングと成長を制御することを含む。原料ガスの巨視的な流れを制御する手段の例として、温度勾配を制御すること、原料ガス濃度勾配を制御することが挙げられる。

[0118] 図2に示すように、表面11から離れるにつれ温度が低くなるように温度勾配が形成されている場合、原料ガスの巨視的な流れは、表面11から離れる向きとなる。このとき、昇華反応が再結晶反応より支配的となり、表面11はエッチングされる。一方、図3に示すように、表面11へ近づくにつれ温度が低くなるように温度勾配が形成されている場合、原料ガスの巨視的な流れは、表面11へ近づく向きとなる。このとき、再結晶反応が昇華反応より支配的となり、表面11は成長する。

[0119] 本処理方法は、SiC基板1の表層を構成する原子の新陳代謝を、Si面111とC面112の両面で引き起こす、すなわち、Si面111とC面112の両面を同時に処理することを含む。図4に示すように、C面112の側からSi面111の側へ向かうにつれ温度が低くなる向きに温度勾配が形成されている場

合、原料ガスの巨視的な流れは、Si面111から離れる向き、かつ、C面112へ近づく向きとなる。このとき、Si面111はエッチングされ、同時に、C面112は成長する。一方、図5に示すように、Si面111の側からC面112の側へ向かうにつれ温度が低くなる向きに温度勾配が形成されている場合、原料ガスの巨視的な流れは、Si面111へ近づく向き、かつ、C面112から離れる向きとなる。このとき、Si面111は成長し、同時に、C面112はエッチングされる。

[0120] 本処理方法は、SiC基板1の基板厚を維持しつつ、Si面111とC面112の両面を同時に処理することを含む。表面11でのエッチング速度又は成長速度は、表面11近傍の温度勾配に概ね依る。ここで、温度勾配そのものは時間的に変化するが、Si面111とC面112が空間的に非常に近接している（例えば、400  $\mu\text{m}$ 程度）ことで、Si面111とC面112での温度勾配は常に略同一となる。結果として、一方の表面11でのエッチング速度と他方の表面11での成長速度は常に略同一となる。すなわち、温度勾配の大きさや向き、その時間的な変化に依らず、一方の表面11のエッチング量と他方の表面11での成長量は略同一となり、SiC基板1の基板厚は維持される。これより、SiC基板1の処理に伴う原料ロスを、基板内で実質的にゼロにすることができる。

[0121] 〈処理方法X〉

本処理方法の第1の好ましい形態について、図6～8を参照しながら詳述する。図6～8は、図1～5が示す構成と同様の構成を同一の符号で示す。以下、本処理方法の第1の好ましい形態を、処理方法Xとする。

[0122] 〈準備工程S1〉

処理方法Xは、SiC基板1を準備する準備工程S1を備える。なお、準備工程S1は、複数のSiC基板1を準備することを含んでもよい。

[0123] 準備工程S1は、加工変質層を有する基板をSiC基板1として準備することを含んでもよい。この基板は、機械処理（例えば、インゴット切断、研削、機械研磨、化学機械研磨）を経て加工変質層が形成された基板（例えば、As-

sliced基板)であってもよい。すなわち、処理方法Xは、SiC基板1の加工変質層12を取り除く方法として用いることができる。

[0124] 準備工程S1は、Si面の算術平均粗さRaが15 nm以上(又は15 nm超過)である基板をSiC基板1として準備することを含んでもよい。この算術平均粗さRaは、30 nm以上(又は30 nm超過)であってもよく、100 nm以上(又は100 nm超過)であってもよい。この算術平均粗さRaに特段の上限はないが、500 nm以下(又は500 nm未満)であることが好ましい。なお、「算術平均粗さRa」は、基板の表面(ただし、端部を除く)のAFM像(10  $\mu\text{m}$ ×10  $\mu\text{m}$ )における、輪郭線とその平均線の絶対差の平均値として求められる。このSiC基板は、機械処理(例えば、インゴット切断、研削)を経たSiC基板であってもよい。すなわち、処理方法Xは、SiC基板1の表面11の粗さを低減させる方法として用いることができる。

[0125] 準備工程S1は、表面に保護膜が形成されていない基板をSiC基板1として準備することを含む。これより、Si面111とC面112の両面を同時に処理することができる。

[0126] 〈アニール工程S2〉

図6に示すように、処理方法Xは、坩堝2の内部でSiC基板1を加熱するアニール工程S2を備える。

[0127] 坩堝2の内壁は、SiC(例えば、多結晶SiC、単結晶SiC)で構成されている。坩堝2の略全体が、SiCで構成されていることも好ましい。このSiCは、多結晶SiCであることが好ましい。

[0128] 坩堝2は、開口を有する基体21と、蓋22と、を備える。坩堝2の内部は、基体21の開口が蓋22で覆われることで形成される。SiC基板1は、基体21の開口が上に向き、基体21に蓋22が載置され基体21の開口が覆われている状態で、坩堝2の内部に配置されている。

[0129] SiC基板1は、基板支持具3で支持されている。基板支持具3は、基体21又は蓋22と一体に形成されている。ここで、基板支持具3は、基体21の内壁から設けられてもよく、蓋22の内壁から設けられていてもよい。なお

、基板支持具3は、基体21又は蓋22と別体に形成されていてもよい。ここで、基板支持具3は、基体21の内底に載置されていることが好ましい。

[0130] 基板支持具3は、SiC（例えば、多結晶SiC、単結晶SiC）で構成されていることが好ましい。

[0131] SiC基板1は、Si面111が上に、C面112が下に向いた状態で、C面112の下方から基板支持具3で支持されている。なお、Si面111が下に、C面112が上に向いた状態で、Si面111の下方から基板支持具3に支持されていてもよい。

[0132] SiC基板1は、僅かな接触面積を介して基板支持具3で支持され、結果として、坩堝2の内部の中空に支持されている。SiC基板1は、三点以上の点で支持されていてもよく、円などの線で支持されていてもよい。SiC基板1は、坩堝2の内部の中空に支持されていることで、一方の表面11と坩堝2の内壁とが直接相対するように、かつ、他方の表面11と坩堝2の内壁とが直接相対するように、坩堝2の内部に配置されていることが好ましい。「直接相対する」という語は、二つの部材が、他の部材に遮られることなく相対することを指す。SiC基板1は、中空に支持され、坩堝2の内部の略中央に配置されることが好ましい。

[0133] 坩堝2の内部は、不活性ガス環境に保持されている。坩堝2の内部の圧力は、1 kPa以上（又は1 kPa超過）である。この圧力は、5 kPa以上（又は5 kPa超過）であってもよく、10 kPa以上（又は10 kPa超過）であってもよく、100 kPa以上（又は100 kPa超過）であってもよい。この圧力は、特段の上限はないが、300 kPa以下（又は300 kPa未満）であることが好ましい。坩堝2の内部の温度は、1800°C以上（又は1800°C超過）である。この温度は、1900°C以上（又は1900°C超過）であることが好ましく、2000°C以上（又は2000°C超過）であることが好ましく、2100°C以上（又は2100°C超過）であることが好ましく、2200°C以上（又は2200°C超過）であることが好ましい。この温度は、特段の上限はないが、2300°C以下（又は2300°C未満）であることが好ましい。坩堝2の内部の圧力と温度の好ましい組み合わせは、1 kPa以上（又は1

kPa超過)と1800°C以上(又は1800°C超過)の組み合わせである。この組み合わせは、1 kPa以上(又は1 kPa超過)と1900°C以上(又は1900°C超過)の組み合わせであることが好ましく、1 kPa以上(又は1 kPa超過)と2000°C以上(又は2000°C超過)の組み合わせであることが好ましい。この組み合わせは、10 kPa以上(又は10 kPa超過)と1800°C以上(又は1800°C超過)の組み合わせであることが好ましく、10 kPa以上(又は10 kPa超過)と1900°C以上(又は1900°C超過)の組み合わせであることが好ましく、10 kPa以上(又は10 kPa超過)と2000°C以上(又は2000°C超過)の組み合わせであることが好ましい。

[0134] 坩堝2の内部の圧力と温度の特に好ましい組み合わせは、5 kPa以上(又は5 kPa超過)と2000°C以上(又は2000°C超過)の組み合わせである。この組み合わせは、5 kPa以上(又は5 kPa超過)と2200°C以上(又は2200°C超過)の組み合わせであることが好ましく、10 kPa以上(又は10 kPa超過)と2000°C以上(又は2200°C超過)の組み合わせであることが好ましく、10 kPa以上(又は10 kPa超過)と2200°C以上(又は2200°C超過)の組み合わせであることが好ましい。

[0135] 坩堝2の内部には、温度勾配が形成されている。また、基体21と蓋22には、温度差が形成されている。この温度勾配の大きさに特段の制限はない。この温度勾配は、SiC基板1を貫く方向で形成されている。この温度勾配は、C面112の側からSi面111の側へ向かうにつれ温度が低くなる向きで形成されている。なお、この温度勾配は、Si面111からC面112へ向かうにつれ温度が低くなる向きで形成されていてもよい。

[0136] 処理方法Xでは、坩堝2の内部でSiC基板1をアニールすることで、SiC基板1の基板厚を維持しつつ、Si面111をエッチングし、同時に、C面112を成長させることができる。結果として、Si面111の側の表層に含まれる加工変質層12を十分に取り除くとともに、Si面111とC面112の両面の粗さを低減させることができる。なお、温度勾配が逆であれば、SiC基板1の基板厚を維持しつつ、Si面111を成長させ、同時に、C面112をエッチン

グすることができる。結果として、Si面111の側の表層に含まれる加工変質層12を取り除きつつ、同時に、Si面111に成長層を形成することができる。

[0137] 処理方法Xでは、上記のような形態で、坩堝2の内部にSiC基板1が支持されていることで、表面11のエッチング又は成長を好適な条件で行うことができる。

[0138] 坩堝2や基板支持具3がSiCで構成されていることで、坩堝2や基板支持具3から坩堝2の内部に原料ガスが発生し、坩堝2の内部に十分な原料ガスが存在する状態が保持される。結果として、昇華反応と再結晶反応の双方を強く促進させることができる。ここで、坩堝2においても、SiC基板1と同様に、昇華反応と再結晶反応の双方が強く促進されることで、坩堝2の炭化を抑制することができる。また、SiC基板1に再結晶化しなかったガスを、坩堝2や基板支持具3に再結晶化させて回収することができ、結果として、坩堝2及び坩堝2の内部の全体で原料ロスを実質的にゼロとすることができる。加えて、坩堝2が多結晶SiCで構成されていることで、坩堝2の単位面積から発生する原料ガスが、単結晶SiCであるSiC基板1の単位面積から発生する原料ガスより多くなることで、Si面111のエッチング量は僅かに小さくなり、C面112の成長量は僅かに大きくなる。結果として、SiC基板1の基板厚を加熱前後で僅かに増加させることができる。

[0139] 基体21に蓋22が載置されて坩堝2の内部が形成されていることで、坩堝2の内部は、閉鎖的な環境でありながら、基体21と蓋22との僅かな隙間を経路として、坩堝2の内外をガス（例えば、不活性ガス）が行き来可能となる。すなわち、坩堝2を開放することなく、坩堝2の内部のガスを調整することができる。

[0140] SiC基板1が基板支持具3で上記のように支持されていることで、坩堝2の内壁からC面112への原料ガスの巨視的な流れと、Si面111から坩堝2の内壁への原料ガスの巨視的な流れとが形成される。これより、SiC基板1と坩堝2の内壁とが、不活性ガス環境を介して、定常的に原料ガスをやりとりす

るといふ、坩堝 2 及び坩堝 2 の内部の全体で均衡が保たれたアニール環境を形成することができる。また、坩堝 2 の内壁からC面への原料ガスの巨視的な流れと、Si面 1 1 1 から坩堝 2 の内壁への原料ガスの巨視的な流れとが略同一であることで、Si面 1 1 1 のエッチング量とC面 1 1 2 での成長量を略同一とし、SiC基板 1 の基板厚を加熱前後で略同一とすることができる。

[0141] 処理方法 X では、上記のような形態で、坩堝 2 の内部が不活性ガス環境に保持されていることで、表面 1 1 のエッチング又は成長を好適な条件で行うことができる。

[0142] 坩堝 2 の内部が不活性ガス環境に上記のように保持されていることで、SiC基板 1 から昇華した原料ガスの拡散が抑制され、SiC基板 1 近傍の原料ガス濃度が大きくなるとともに、原料ガスの熱運動が激しくなる。結果として、SiC基板 1 の表面 1 1 で昇華反応と再結晶反応の双方が強く促進される。

[0143] なお、図 7 に示すように、坩堝 2 は、大坩堝 4 の内部に配置されていてもよい。

[0144] 大坩堝 4 の内壁は、C元素吸蔵材料を含んで構成されている。「C元素吸蔵材料」という語は、加熱時にC元素を吸蔵する材料を指す。C元素吸蔵材料の例として、Ta、TaCが挙げられる。大坩堝 4 の略全体が、C元素吸蔵材料を含んで構成されていることも好ましい。

[0145] 大坩堝 4 の内壁は、Siガス発生材料を含んで構成されていることが好ましい。「Siガス発生材料」という語は、加熱時にSiガスを発生させる材料を指す。Siガス発生材料の例として、Si、タンタルシリサイドが挙げられる。大坩堝 4 の略全体が、Siガス発生材料を含んで構成されていてもよい。

[0146] 大坩堝 4 の内部かつ坩堝 2 の外部には、Siガス源が配置されていてもよい。「Siガス源」という語は、加熱時にSiガスを発生させる部材を指す。Siガス源の例として、Si（例えば、Si片）が挙げられる。

[0147] 大坩堝 4 は、開口を有する大基体 4 1 と、大蓋 4 2 と、を備える。大坩堝 4 の内部は、大基体 4 1 の開口が大蓋 4 2 で覆われることで形成される。坩堝 2 は、大基体 4 1 の開口が上に向き、大基体 4 1 に大蓋 4 2 が載置され大

基体 4 1 の開口が覆われている状態で、大坩堝 4 の内部に配置されている。

[0148] 処理方法 X では、上記のような形態で、大坩堝 4 の内部に坩堝 2 が配置されていることで、表面 1 1 のエッチング又は成長を好適な条件で行うことができる。

[0149] 大坩堝 4 の内壁が C 元素吸蔵材料を含んで構成されていることで、坩堝 2 から発生する原料ガスから C 元素が取り除かれ、坩堝 2 の外部が、Si 元素が支配的な環境となる。結果として、坩堝 2 の炭化を抑制することができる。

[0150] 大坩堝 4 の内壁が Si ガス発生材料を含んで構成され又は大坩堝 4 の内部かつ坩堝 2 の外部に Si ガス源が配置されていることで、坩堝 2 の外部が、Si 元素が支配的な環境となる。結果として、坩堝 2 の炭化を抑制することができる。

[0151] 以下では、アニール工程 S 2 が備える工程を詳述する。

〈収容工程 S 2 1〉

アニール工程 S 2 は、坩堝 2 の内部に SiC 基板 1 を収容する収容工程 S 2 1 を有する。

[0152] 収容工程 S 2 1 は、基体 2 1 の開口から SiC 基板 1 を入れ、基体 2 1 に蓋 2 2 を載置し基体 2 1 の開口を覆うことで、坩堝 2 の内部に SiC 基板 1 を収容することを含む。

[0153] 収容工程 S 2 1 は、基板支持具 3 で SiC 基板 1 を坩堝 2 の内部の中空に支持することで、一方の表面 1 1 と坩堝 2 の内壁とを直接相対させ、他方の表面 1 1 と坩堝 2 の内壁とを直接相対させることを含む。収容工程 S 2 1 は、SiC 基板 1 を、Si 面 1 1 1 を上に、C 面 1 1 2 を下に向け、C 面 1 1 2 の下方から基板支持具 3 で支持することを含む。ここで、収容工程 S 2 1 は、SiC 基板 1 を、僅かな接触面積を介して基板支持具 3 で支持することを含む。収容工程 S 2 1 は、SiC 基板 1 を坩堝 2 の内部の中空に支持し、坩堝 2 の内部の略中央に配置することで、坩堝 2 の内壁から C 面への原料ガスの巨視的な流れと、Si 面 1 1 1 から坩堝 2 の内壁への原料ガスの巨視的な流れとを、略同一に形成することを含むことが好ましい。

- [0154] 収容工程S 2 1は、加熱炉の内部に坩堝2を収容することを含むことが好ましい。ここで、加熱炉は、不活性ガスを導入可能なラインと、真空引き可能なラインと、を備えることが好ましい。
- [0155] 坩堝2の内部には、SiC以外の材料を含む部材が配置されないことが好ましい。詳述すれば、坩堝2の内部には、SiC基板1以外の部材が配置されないことが好ましい。基板支持具3が基体2 1又は蓋2 2と別体に形成されている場合、坩堝2の内部には、SiC基板1とSiCで構成された基板支持具3以外の部材が配置されないことが好ましい。これより、加熱時に、坩堝2の内部の環境を好適に保持することができる。
- [0156] 例えば、坩堝2の内部には、熱源が配置されないことが好ましい。これより、熱源に由来する不純物が坩堝2の内部の環境に混入することを防ぐことができる。また、熱源のフィードスルーにより坩堝2の内部の閉鎖的な環境が失われることを防ぐことができる。
- [0157] 収容工程S 2 1は、大坩堝4の内部に坩堝2を収容することを含んでもよい。ここで、収容工程S 2 1は、大基体4 1の開口から坩堝2を入れ、大基体4 1に大蓋4 2を載置し大基体4 1の開口を覆うことで、大坩堝4の内部に坩堝2を収容することを含む。
- [0158] 〈加熱工程S 2 2〉
- アニール工程S 2は、収容工程S 2 1の後に、坩堝2を加熱する加熱工程S 2 2を有する。加熱工程S 2 2は、坩堝2を加熱することで、坩堝2の内部に収容されたSiC基板1を加熱することを含む。
- [0159] 加熱工程S 2 2は、坩堝2を加熱し、坩堝2から坩堝2の内部に原料ガスを発生させることを含む。
- [0160] 加熱工程S 2 2は、坩堝2の内部に不活性ガスを導入し、坩堝2の内部の圧力を1 kPa以上（又は1 kPa超過）に保持することを含む。この圧力は、5 kPa以上（又は5 kPa超過）であってもよく、10 kPa以上（又は10 kPa超過）であってもよく、100 kPa以上（又は100 kPa超過）であってもよい。この圧力は、特段の上限はないが、300 kPa以下（又は300 kPa未満）であることが好

ましい。ここで、加熱工程 S 2 2 は、加熱炉の内部に不活性ガスを導入することで、加熱炉の内部に收容された坩堝 2 の内部に不活性ガスを導入することを含む。

[0161] 加熱工程 S 2 2 は、坩堝 2 を加熱し、坩堝 2 の内部の温度を 1800°C 以上（又は 1800°C 超過）に保持することを含む。この温度は、1900°C 以上（又は 1900°C 超過）であることが好ましく、2000°C 以上（又は 2000°C 超過）であることが好ましく、2100°C 以上（又は 2100°C 超過）であることが好ましく、2200°C 以上（又は 2200°C 超過）であることが好ましい。この温度は、特段の上限はないが、2300°C 以下（又は 2300°C 未満）であることが好ましい。

[0162] 加熱工程 S 2 2 は、坩堝 2 の内部の圧力と温度の組み合わせを、1 kPa 以上（又は 1 kPa 超過）と 1800°C 以上（又は 1800°C 超過）の組み合わせに保持することを含む。この組み合わせは、1 kPa 以上（又は 1 kPa 超過）と 1900°C 以上（又は 1900°C 超過）の組み合わせであることが好ましく、1 kPa 以上（又は 1 kPa 超過）と 2000°C 以上（又は 2000°C 超過）の組み合わせであることが好ましく。この組み合わせは、10 kPa 以上（又は 10 kPa 超過）と 1800°C 以上（又は 1800°C 超過）の組み合わせであることが好ましく、10 kPa 以上（又は 10 kPa 超過）と 1900°C 以上（又は 1900°C 超過）の組み合わせであることが好ましく、10 kPa 以上（又は 10 kPa 超過）と 2000°C 以上（又は 2000°C 超過）の組み合わせであることが好ましい。

[0163] 加熱工程 S 2 2 において、坩堝 2 の内部の圧力と温度の特に好ましい組み合わせは、5 kPa 以上（又は 5 kPa 超過）と 2000°C 以上（又は 2000°C 超過）の組み合わせである。この組み合わせは、5 kPa 以上（又は 5 kPa 超過）と 2200°C 以上（又は 2200°C 超過）の組み合わせであることが好ましく、10 kPa 以上（又は 10 kPa 超過）と 2000°C 以上（又は 2200°C 超過）の組み合わせであることが好ましく、10 kPa 以上（又は 10 kPa 超過）と 2200°C 以上（又は 2200°C 超過）の組み合わせであることが好ましい。

[0164] 加熱工程 S 2 2 において、坩堝 2 の加熱時間は、10 分以上（又は 10 分超過）である。この加熱時間は、30 分以上（又は 30 分超過）であることが好まし

く、1時間以上（又は1時間超過）であることが好ましい。この時間は、特段の上限はないが、3時間以下（又は3時間未満）であることが好ましく、2時間以下（又は2時間未満）であることが好ましい。

[0165] 加熱工程S 2 2は、坩堝2の内部にSiC基板1を貫く方向で温度勾配を形成することで、坩堝2の内部に原料ガスの巨視的な流れを形成することを含む。ここで、加熱工程S 2 2は、基体2 1と蓋2 2に温度差を形成することで、坩堝2の内部に温度勾配を形成することを含むことが好ましい。なお、SiCは熱伝導率が高い材料であるが、基体2 1と蓋2 2の接触部分が熱抵抗となるため、基体2 1と蓋2 2に温度差が形成されている状況が実現され得る。この温度差は、基体2 1が高温、蓋2 2が低温となるように形成されている。これより、C面1 1 2の側からSi面1 1 1の側へ向かうにつれ温度が低くなる向きで温度勾配を形成し、結果として、Si面1 1 1をエッチングし、同時に、C面1 1 2を成長させることができる。なお、この温度差は、基体2 1が低温、蓋2 2が高温、となるように形成されていてもよい。これより、Si面1 1 1の側からC面1 1 2の側へ向かうにつれ温度が低くなる向きで温度勾配を形成し、結果として、Si面1 1 1を成長させ、同時に、C面1 1 2をエッチングすることができる。

[0166] 加熱工程S 2 2は、加熱炉を熱源として坩堝2を加熱することを含む。これより、坩堝2の外部から坩堝2の内部を加熱することができる。また、加熱炉の上方と下方で加熱出力に差をつけることで、坩堝2の内部に所望の温度勾配を形成することができる。

[0167] 処理方法Xの流れは、図8のようになる。処理方法Xは、準備工程S 1を行い、次いでアニール工程S 2を行うことを含む。アニール工程S 2は、収容工程S 2 1を行い、次いで加熱工程S 2 2を行うことを含む。なお、処理方法Xは、アニール工程S 2の後に、任意の処理を行う工程を備えてもよい。ここで、処理方法Xは、アニール工程S 2の後に、機械処理を行う工程を備えないことが好ましい。

[0168] 〈処理方法Y〉

本処理方法の第2の好ましい形態について、図9～10を参照しながら詳述する。図9～10は、図1～8が示す構成と同様の構成を同一の符号で示す。以下、本処理方法の第2の好ましい形態を、処理方法Yとする。

[0169] 〈準備工程S1〉

処理方法Yは、SiC基板1を準備する準備工程S1を備える。準備工程S1は、処理方法Xの準備工程S1と同様であるため、説明を省略する。

[0170] 〈アニール工程S2〉

処理方法Yは、SiCで構成された坩堝2の内部でSiC基板1をアニールするアニール工程S2を備える。アニール工程S2は、処理方法Xのアニール工程S2と同様であるため、説明を省略する。

[0171] 〈エッチング工程S3〉

処理方法Yは、アニール工程S2を経たSiC基板1をエッチングするエッチング工程S3を備える。

[0172] エッチング工程S3でのエッチングは、従来のエッチングと同様、微視的な原子の減少が繰り返されることで、巨視的な原子の減少が生じているものである。すなわち、アニール工程S2でのエッチングとは異なる。このとき、SiC基板1の表面11は精緻にエッチングされ、表面粗さが顕著に小さいSiC基板1が実現される。

[0173] 部材配置の形態は、アニール工程S2の形態と略同様であるが、図7に示すように、SiC基板1と、坩堝2と、基板支持具3に加え、大坩堝4が用いられる形態であることが好ましい。

[0174] 坩堝2の内部は、原料ガス相平衡環境に保持されている。「原料ガス相平衡環境」という語は、SiC基板と原料ガスが略相平衡であるような原料ガス圧力である環境を指す。原料ガス相平衡環境の例として、C元素が支配的であるSiC-C平衡蒸気圧環境、Si元素が支配的であるSiC-Si平衡蒸気圧環境が挙げられる。すなわち、本処理方法のエッチング工程は、原料ガス相平衡環境下でSiC基板をエッチングする工程であるといえる。

[0175] SiC-C平衡蒸気圧環境に保持されている坩堝2の内部の温度は、1600℃以上

(又は1600°C超過)であることが好ましく、1700°C以上(又は1700°C超過)であることが好ましい。この温度は、2000°C以下(又は2000°C未満)であることが好ましく、1900°C以下(又は1900°C未満)であることが好ましい。この温度は、アニール工程S2における坩堝2の内部の温度より低いことが好ましい。

[0176] SiC-Si平衡蒸気圧環境に保持されている坩堝2の内部の温度は、1800°C以上(又は1800°C超過)であることが好ましく、1900°C以上(又は1900°C超過)であることが好ましい。この温度は、2000°C以下(又は2000°C未満)であることが好ましい。この温度は、アニール工程S2における坩堝2の内部の温度より低いことが好ましい。

[0177] 図9に示すように、坩堝2の内部にSiガス源5(例えば、Si片)が配置されている場合、坩堝2の内部には、SiC-Si平衡蒸気圧環境が形成される。一方、図7に示すように、坩堝2の内部にSiガス源5が配置されていない場合、坩堝2の内部には、SiC-C平衡蒸気圧環境が形成される。

[0178] 坩堝2の内部には、温度勾配が形成されている。この温度勾配の大きさは、0.1 mm/K以上かつ5 mm/K以下である。この温度勾配は、SiC基板1を貫く方向で形成されている。この温度勾配は、C面112からSi面111へ向かうにつれ温度が低くなる向きで形成されている。

[0179] 処理方法Yでは、上記のような形態で、坩堝2の内部が原料ガス相平衡環境に保持されていることで、Si面111のエッチングを好適な条件で行うことができる。

[0180] 坩堝2の内部が原料ガス相平衡環境に上記のように保持されていることで、昇華反応と再結晶反応は穏やかに均衡するとともに僅かに昇華反応に偏り、Si面111から原料ガスが徐々に昇華する。結果として、Si面111を精緻にエッチングし、Si面111の表面粗さを顕著に低減させることができる。

[0181] 以下では、エッチング工程S3が備える工程を詳述する。

[0182] 〈エッチング収容工程S31〉

エッチング工程S 3は、坩堝2の内部にSiC基板1を収容するエッチング収容工程S 3 1を有する。エッチング収容工程S 3 1は、処理方法Xの収容工程S 2 1と略同様であるが、SiC-C平衡蒸気圧環境下でエッチングする場合、図7に示すように、坩堝2の内部にSiガス源5を配置しないことを含み、SiC基板をSiC-Si平衡蒸気圧環境下でエッチングする場合、図9に示すように、坩堝2の内部にSiガス源5を配置することを含む。なお、エッチング収容工程S 3 1において、坩堝2は、収容工程S 2 1で用いたものであってもよく、それとは異なるものであってもよい。ここで、エッチング収容工程S 3 1は、坩堝2の内部にSiC基板1を収容することの代わりに、アニール工程S 2を経た坩堝2を、SiC基板1が収容されたままの状態、そのまま準備することを含んでもよい。

[0183] 〈エッチング加熱工程S 3 2〉

エッチング工程S 3は、エッチング収容工程S 3 1の後に、坩堝2を加熱するエッチング加熱工程S 3 2を有する。エッチング加熱工程S 3 2は、坩堝2を加熱することで、坩堝2の内部に収容されたSiC基板1を加熱することを含む。

[0184] エッチング加熱工程S 3 2は、坩堝2の内部をSiC-C平衡蒸気圧環境に保持することを含むことが好ましい。ここで、エッチング加熱工程S 3 2は、坩堝2の内部を真空引きしながら坩堝2を加熱し、坩堝2から坩堝2の内部に原料ガスを発生させることで、坩堝2の内部をSiC-C平衡蒸気圧環境に保持することが好ましい。

[0185] 坩堝2の内部をSiC-C平衡蒸気圧環境に保持する場合、エッチング加熱工程S 3 2は、坩堝2を加熱し、坩堝2の内部の温度を1600℃以上（又は1600℃超過）に保持することを含む。この温度は、1700℃以上（又は1700℃超過）であることが好ましい。この温度は、2000℃以下（又は2000℃未満）である。この温度は、1900℃以下（又は1900℃未満）であることが好ましい。この温度は、加熱工程S 2 2における坩堝2の内部の温度より低いことが好ましい。

- [0186] エッチング加熱工程S 3 2は、坩堝2の内部をSiC-Si平衡蒸気圧環境に保持することを含むことも好ましい。ここで、エッチング加熱工程S 3 2は、坩堝2の内部を真空引きしながら坩堝2を加熱し、坩堝2から坩堝2の内部に原料ガスを発生させるとともに、Siガス源5から坩堝2の内部にSiガスを発生させることで、坩堝2の内部をSiC-Si平衡蒸気圧環境に保持することが好ましい。
- [0187] 坩堝2の内部をSiC-Si平衡蒸気圧環境に保持する場合、エッチング加熱工程S 3 2は、坩堝2を加熱し、坩堝2の内部の温度を1800℃以上（又は1800℃超過）に保持することを含む。この温度は、1900℃以上（又は1900℃超過）であることが好ましい。この温度は、2000℃以下（又は2000℃未満）である。この温度は、加熱工程S 2 2における坩堝2の内部の温度より低いことが好ましい。
- [0188] エッチング加熱工程S 3 2は、坩堝2の内部にSiC基板1を貫く方向で温度勾配を形成することで、坩堝2の内部に原料ガスの巨視的な流れを形成することを含む。ここで、エッチング加熱工程S 3 2は、基体2 1が高温、蓋2 2が低温となるように温度差を形成することを含む。これより、C面1 1 2の側からSi面1 1 1の側へ向かうにつれ温度が低くなる向きで温度勾配を形成し、結果として、Si面1 1 1を精緻にエッチングすることができる。
- [0189] エッチング加熱工程S 3 2は、加熱炉を熱源として坩堝2を加熱することを含む。これより、坩堝2の外部から坩堝2の内部を加熱することができる。また、加熱炉の上方と下方で加熱出力に差をつけることで、坩堝2の内部に所望の温度勾配を形成することができる。
- [0190] 処理方法Yの流れは、図10のようになる。処理方法Yは、準備工程S 1を行い、次いでアニール工程S 2を行い、次いでエッチング工程S 3を行うことを含む。アニール工程S 2は、収容工程S 2 1を行い、次いで加熱工程S 2 2を行うことを含む。エッチング工程S 3は、エッチング収容工程S 3 1を行い、次いでエッチング加熱工程S 3 2を行うことを含む。なお、処理方法Yは、エッチング工程S 3の後に、任意の処理を行う工程を備えてもよ

い。ここで、処理方法Yは、エッチング工程S3の後に、機械処理を行う工程を備えないことが好ましい。

[0191] 〈処理方法Z〉

本処理方法の第3の好ましい形態について、図11を参照しながら詳述する。図11は、図1～10が示す構成と同様の構成を同一の符号で示す。以下、本処理方法の第3の好ましい形態を、処理方法Zとする。

[0192] 〈準備工程S1〉

処理方法Zは、SiC基板1を準備する準備工程S1を備える。準備工程S1は、処理方法Yの準備工程S1と同様であるため、説明を省略する。

[0193] 〈アニール工程S2〉

処理方法Zは、SiCで構成された坩堝2の内部でSiC基板1をアニールするアニール工程S2を備える。アニール工程S2は、処理方法Yのアニール工程S2と同様であるため、説明を省略する。

[0194] 〈第1エッチング工程S4〉

処理方法Zは、アニール工程S2を経たSiC基板1をエッチングする第1エッチング工程S4を備える。第1エッチング工程S4は、処理方法Yのエッチング工程S3と略同様であるが、坩堝2の内部は、SiC-C平衡蒸気圧環境に保持されている。

[0195] 〈第1エッチング収容工程S41〉

第1エッチング工程S4は、坩堝2の内部にSiC基板1を収容する第1エッチング収容工程S41を有する。第1エッチング収容工程S41は、処理方法Yのエッチング収容工程S31と略同様であるが、図7に示すように、坩堝2の内部にSiガス源5を配置しないことを含む。

[0196] 〈第1エッチング加熱工程S42〉

第1エッチング工程S4は、第1エッチング収容工程S41の後に、坩堝2を加熱する第1エッチング加熱工程S42を有する。第1エッチング加熱工程S42は、処理方法Yのエッチング加熱工程S32と略同様であるが、坩堝2の内部をSiC-C平衡蒸気圧環境に保持することを含む。

## [0197] 〈第2エッチング工程S5〉

処理方法Zは、第1エッチング工程S4を経たSiC基板1をさらにエッチングする第2エッチング工程S5を備える。第2エッチング工程S5は、処理方法Yのエッチング工程S3と略同様であるが、坩堝2の内部は、SiC-Si平衡蒸気圧環境に保持されている。

## [0198] 〈第2エッチング收容工程S51〉

第2エッチング工程S5は、坩堝2の内部にSiC基板1を收容する第2エッチング收容工程S51を有する。第2エッチング收容工程S51は、処理方法Yのエッチング收容工程S31と略同様であるが、図9に示すように、坩堝2の内部にSiガス源5を配置することを含む。

## [0199] 〈第2エッチング加熱工程S52〉

第2エッチング工程S5は、第2エッチング收容工程S51の後に、坩堝2を加熱する第2エッチング加熱工程S52を有する。第2エッチング加熱工程S52は、処理方法Yのエッチング加熱工程S32と略同様であるが、坩堝2の内部をSiC-Si平衡蒸気圧環境に保持することを含む。

[0200] 処理方法Zでは、上記のような形態で、第1エッチング工程S4にてSiC-C平衡蒸気圧環境下でSiC基板1をエッチングし、その後、第2エッチング工程S5にてSiC-Si平衡蒸気圧環境下でSiC基板1をエッチングすることで、Si面111をさらに精緻にエッチングし、Si面の表面粗さをさらに顕著に低減させることができる（特に、Si面のマクロステップバンチングを分解することができる）。

[0201] 処理方法Zの流れは、図11のようになる。処理方法Zは、準備工程S1を行い、次いでアニール工程S2を行い、次いで第1エッチング工程S4を行い、次いで第2エッチング工程S5を行うことを含む。アニール工程S2は、收容工程S21を行い、次いで加熱工程S22を行うことを含む。第1エッチング工程S4は、第1エッチング收容工程S41を行い、次いで第1エッチング加熱工程S42を行うことを含む。第2エッチング工程S5は、第2エッチング收容工程S51を行い、次いで第2エッチング加熱工程S5

2を行うことを含む。なお、処理方法Zは、第2エッチング工程S5の後に、任意の処理を行う工程を備えてもよい。ここで、処理方法Zは、第2エッチング工程S5の後に、機械処理を行う工程を備えないことが好ましい。

[0202] 〈処理方法V〉

本処理方法の第4の好ましい形態について、図12を参照しながら詳述する。図12は、図1～11が示す構成と同様の構成を同一の符号で示す。以下、本処理方法の第4の好ましい形態を、処理方法Vとする。

[0203] 〈準備工程S1〉

処理方法Vは、SiC基板1を準備する準備工程S1を備える。準備工程S1は、処理方法Zの準備工程S1と同様であるため、説明を省略する。

[0204] 〈アニール工程S2〉

処理方法Vは、SiCで構成された坩堝2の内部でSiC基板1をアニールするアニール工程S2を備える。アニール工程S2は、処理方法Zのアニール工程S2と同様であるため、説明を省略する。

[0205] 〈エッチング工程S3〉

処理方法Vは、アニール工程S2を経たSiC基板1をエッチングするエッチング工程S3を備える。エッチング工程S3は、処理方法Yのエッチング工程S3と同様であるため、説明を省略する。

[0206] 処理方法Vは、エッチング工程S3として、第1エッチング工程S4と、第2エッチング工程S5と、をこの順に備えることが好ましい。第1エッチング工程S4及び第2エッチング工程S5は、処理方法Zの第1エッチング工程S4及び第2エッチング工程S5と同様であるため、説明を省略する。

[0207] 〈成長工程S6〉

処理方法Vは、エッチング工程S3を経たSiC基板1を成長させる成長工程S6を備える。

[0208] 成長工程S6での成長は、従来の成長と同様、微視的な原子の増加が繰り返されることで、巨視的な原子の増加が生じているものである。すなわち、アニール工程S2での成長とは異なる。このとき、SiC基板1の表面11は精

緻に成長し、表面粗さが顕著に小さいSiC基板1が実現される。

[0209] 部材配置の形態は、エッチング工程S3の形態と同様である。

[0210] 坩堝2の内部は、原料ガス相平衡環境に保持されている。すなわち、本処理方法の成長工程は、原料ガス相平衡環境下でSiC基板を成長させる工程であるといえる。

[0211] SiC-C平衡蒸気圧環境に保持されている坩堝2の内部の温度は、1600°C以上（又は1600°C超過）であることが好ましく、1700°C以上（又は1700°C超過）であることが好ましい。この温度は、2000°C以下（又は2000°C未満）であることが好ましく、1900°C以下（又は1900°C未満）であることが好ましい。この温度は、アニール工程S2における坩堝2の内部の温度より低いことが好ましい。

[0212] SiC-Si平衡蒸気圧環境に保持されている坩堝2の内部の温度は、1800°C以上（又は1800°C超過）であることが好ましく、1900°C以上（又は1900°C超過）であることが好ましい。この温度は、2000°C以下（又は2000°C未満）であることが好ましい。この温度は、アニール工程S2における坩堝2の内部の温度より低いことが好ましい。

[0213] 坩堝2の内部には、温度勾配が形成されている。この温度勾配の大きさは、0.1 mm/K以上かつ5 mm/K以下である。この温度勾配は、SiC基板1を貫く方向で形成されている。この温度勾配は、Si面111からC面112へ向かうにつれ温度が低くなる向きで形成されている。

[0214] 処理方法Vでは、上記のような形態で、坩堝2の内部が原料ガス相平衡環境に保持されていることで、Si面111の成長を好適な条件で行うことができる。

[0215] 坩堝2の内部が原料ガス相平衡環境に上記のように保持されていることで、昇華反応と再結晶反応は穏やかに均衡するとともに僅かに再結晶反応に偏り、Si面111に原料ガスが徐々に再結晶化する。結果として、Si面111を精緻に成長させ、Si面111の表面粗さの増大を顕著に抑制することができる。

[0216] 以下では、成長工程S6が備える工程を詳述する。

[0217] 〈成長收容工程S61〉

成長工程S6は、坩堝2の内部にSiC基板1を收容する成長收容工程S61を有する。成長收容工程S61は、処理方法Yのエッチング收容工程S31と同様である。なお、成長收容工程S61において、坩堝2は、收容工程S21で用いたものであってもよく、エッチング收容工程S31で用いたものであってもよく、それとは異なるものであってもよい。ここで、成長收容工程S61は、坩堝2の内部にSiC基板1を收容することの代わりに、エッチング工程S3を経た坩堝2を、SiC基板1が收容されたままの状態、そのまま準備することを含んでもよい。

[0218] 〈成長加熱工程S62〉

成長工程S6は、成長收容工程S61の後に、坩堝2を加熱する成長加熱工程S62を有する。成長加熱工程S62は、坩堝2を加熱することで、坩堝2の内部に收容されたSiC基板1を加熱することを含む。

[0219] 成長加熱工程S62は、坩堝2の内部をSiC-C平衡蒸気圧環境に保持することを含むことが好ましい。ここで、成長加熱工程S62は、坩堝2の内部を真空引きしながら坩堝2を加熱し、坩堝2から坩堝2の内部に原料ガスを発生させることで、坩堝2の内部をSiC-C平衡蒸気圧環境に保持することが好ましい。

[0220] 坩堝2の内部をSiC-C平衡蒸気圧環境に保持する場合、成長加熱工程S62は、坩堝2を加熱し、坩堝2の内部の温度を1600℃以上（又は1600℃超過）に保持することを含む。この温度は、1700℃以上（又は1700℃超過）であることが好ましい。この温度は、2000℃以下（又は2000℃未満）である。この温度は、1900℃以下（又は1900℃未満）であることが好ましい。この温度は、加熱工程S22における坩堝2の内部の温度より低いことが好ましい。

[0221] 成長加熱工程S62は、坩堝2の内部をSiC-Si平衡蒸気圧環境に保持することを含むことも好ましい。ここで、成長加熱工程S62は、坩堝2の内部を真空引きしながら坩堝2を加熱し、坩堝2から坩堝2の内部に原料ガスを

発生させるとともに、Siガス源5から坩堝2の内部にSiガスを発生させることで、坩堝2の内部をSiC-Si平衡蒸気圧環境に保持することが好ましい。

[0222] 坩堝2の内部をSiC-Si平衡蒸気圧環境に保持する場合、成長加熱工程S62は、坩堝2を加熱し、坩堝2の内部の温度を1800℃以上（又は1800℃超過）に保持することを含む。この温度は、1900℃以上（又は1900℃超過）であることが好ましい。この温度は、2000℃以下（又は2000℃未満）である。この温度は、加熱工程S22における坩堝2の内部の温度より低いことが好ましい。

[0223] 成長加熱工程S62は、坩堝2の内部にSiC基板1を貫く方向で温度勾配を形成することで、坩堝2の内部に原料ガスの巨視的な流れを形成することを含む。ここで、成長加熱工程S62は、基体21が低温、蓋22が高温となるように温度差を形成することを含む。これより、Si面111の側からC面112の側へ向かうにつれ温度が低くなる向きで温度勾配を形成し、結果として、Si面111を精緻に成長させることができる。

[0224] 成長加熱工程S62は、加熱炉を熱源として坩堝2を加熱することを含む。これより、坩堝2の外部から坩堝2の内部を加熱することができる。また、加熱炉の上方と下方で加熱出力に差をつけることで、坩堝2の内部に所望の温度勾配を形成することができる。

[0225] 処理方法Vの流れは、図12のようになる。処理方法Vは、準備工程S1を行い、次いでアニール工程S2を行い、次いでエッチング工程S3を行い、次いで成長工程S6を行うことを含む。アニール工程S2は、収容工程S21を行い、次いで加熱工程S22を行うことを含む。エッチング工程S3は、エッチング収容工程S31を行い、次いでエッチング加熱工程S32を行うことを含む。成長工程S6は、成長収容工程S61を行い、次いで成長加熱工程S62を行うことを含む。なお、処理方法Vは、成長工程S6の後に、任意の処理を行う工程を備えてもよい。ここで、処理方法Vは、成長工程S6の後に、機械処理を行う工程を備えないことが好ましい。

[0226] 〈処理方法W〉

本処理方法の第5の好ましい形態について、図13を参照しながら詳述する。図13は、図1～12が示す構成と同様の構成を同一の符号で示す。以下、本処理方法の第5の好ましい形態を、処理方法Wとする。

[0227] 〈準備工程S1〉

処理方法Wは、SiC基板1を準備する準備工程S1を備える。準備工程S1は、処理方法Vの準備工程S1と同様であるため、説明を省略する。

[0228] 〈アニール工程S2〉

処理方法Wは、SiCで構成された坩堝2の内部でSiC基板1をアニールするアニール工程S2を備える。アニール工程S2は、処理方法Vのアニール工程S2と同様であるため、説明を省略する。

[0229] 〈第1エッチング工程S4〉

処理方法Wは、アニール工程S2を経たSiC基板1をエッチングする第1エッチング工程S4を備える。第1エッチング工程S4は、処理方法Zの第1エッチング工程S4と同様であるため、説明を省略する。

[0230] 〈第2エッチング工程S5〉

処理方法Wは、第1エッチング工程S4を経たSiC基板1をさらにエッチングする第2エッチング工程S5を備える。第2エッチング工程S5は、処理方法Zの第2エッチング工程S5と同様であるため、説明を省略する。

[0231] 〈第1成長工程S7〉

処理方法Wは、第2エッチング工程S5を経たSiC基板1を成長させる第1成長工程S7を備える。第1成長工程S7は、処理方法Vの成長工程S6と略同様であるが、坩堝2の内部は、SiC-C平衡蒸気圧環境に保持されている。

[0232] 〈第1成長収容工程S71〉

第1成長工程S7は、坩堝2の内部にSiC基板1を収容する第1成長収容工程S71を有する。第1成長収容工程S71は、処理方法Vの成長収容工程S61と略同様であるが、図7に示すように、坩堝2の内部にSiガス源5を配置しないことを含む。

[0233] 〈第1成長加熱工程S72〉

第1成長工程S7は、第1成長収容工程S71の後に、坩堝2を加熱する第1成長加熱工程S72を有する。第1成長加熱工程S72は、処理方法Vの成長加熱工程S62と略同様であるが、坩堝2の内部をSiC-C平衡蒸気圧環境に保持することを含む。

[0234] 〈第2成長工程S8〉

処理方法Wは、第1成長工程S7を経たSiC基板1をさらに成長させる第2成長工程S8を備える。第2成長工程S8は、処理方法Vの成長工程S6と略同様であるが、坩堝2の内部は、SiC-Si平衡蒸気圧環境に保持されている。

[0235] 〈第2成長収容工程S81〉

第2成長工程S8は、坩堝2の内部にSiC基板1を収容する第2成長収容工程S81を有する。第2成長収容工程S81は、処理方法Vの成長収容工程S61と略同様であるが、図9に示すように、坩堝2の内部にSiガス源5を配置することを含む。

[0236] 〈第2成長加熱工程S82〉

第2成長工程S8は、第2成長収容工程S81の後に、坩堝2を加熱する第2成長加熱工程S82を有する。第2成長加熱工程S82は、処理方法Vの成長加熱工程S62と略同様であるが、坩堝2の内部をSiC-Si平衡蒸気圧環境に保持することを含む。

[0237] 処理方法Wでは、上記のような形態で、第2エッチング工程S5にてSiC-Si平衡蒸気圧環境下でSiC基板1をエッチングし、その後、第1成長工程S7にてSiC-C平衡蒸気圧環境下でSiC基板1を成長させることで、成長層に基底面転位(BPD)が引き継がれることを顕著に抑制することができる。

[0238] また、処理方法Wでは、上記のような形態で、第1成長工程S7にてSiC-C平衡蒸気圧環境下でSiC基板1を成長させ、その後、第2成長工程S8にてSiC-Si平衡蒸気圧環境下でSiC基板1を成長させることで、Si面の表面粗さを顕著に低減させることができる(特に、Si面のマクロステップバンチングを分解することができる)。

[0239] 総じて、処理方法Wでは、任意の状態のSiC基板を、表面粗さが顕著に抑制され、かつ、BPDが顕著に抑制され、かつ、In-grown積層欠陥（IGSF）の原因となる加工変質層が顕著に除去された、SiC半導体デバイス製造に好適なSiC基板に加工することができる。

[0240] 処理方法Wの流れは、図13のようになる。処理方法Zは、準備工程S1を行い、次いでアニール工程S2を行い、次いで第1エッチング工程S4を行い、次いで第2エッチング工程S5を行い、次いで第1成長工程S7を行い、次いで第2成長工程S8を行うことを含む。アニール工程S2は、収容工程S21を行い、次いで加熱工程S22を行うことを含む。第1エッチング工程S4は、第1エッチング収容工程S41を行い、次いで第1エッチング加熱工程S42を行うことを含む。第2エッチング工程S5は、第2エッチング収容工程S51を行い、次いで第2エッチング加熱工程S52を行うことを含む。第1成長工程S7は、第1成長収容工程S71を行い、次いで第1成長加熱工程S72を行うことを含む。第2成長工程S8は、第2成長収容工程S81を行い、次いで第2成長加熱工程S82を行うことを含む。なお、処理方法Wは、第2成長工程S8の後に、任意の処理を行う工程を備えてもよい。ここで、処理方法Wは、第2成長工程S8の後に、機械処理を行う工程を備えないことが好ましい。

### 実施例 1

[0241] 次の工程に従い、処理方法Xを行った。

[0242] 〈準備工程S1〉

次の特性が測定された基板をSiC基板1として準備した。なお、SiC基板1の測定による表面11への影響を除くため、SiC基板1を薬液で洗浄した。

[0243] 材料：4H-SiC

オフ角：4°

オフ方向：[11-20]方向

サイズ：6インチ

Si面111の算術平均粗さRa：46.2 nm

基板厚：400.0  $\mu\text{m}$

[0244] 〈アニール工程 S 2〉

次の工程に従い、SiC基板 1 をアニールした。

[0245] 〈収容工程 S 2 1〉

図 6 に示すようにして、SiC基板 1 を多結晶SiCで構成された坩堝 2 の内部に収容した。

[0246] 〈加熱工程 S 2 2〉

次の条件に沿い、SiC基板 1 を加熱した。

[0247] 導入ガス：Arガス

圧力：1 kPa以上かつ300 kPa以下

温度：1800°C以上かつ2300°C以下

温度差：基体 2 1 が高温、蓋 2 2 が低温

時間：1時間

[0248] 図 1 4 に、AFM像 (10  $\mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ ) に基づく輪郭線を示す。図 1 2 中、(a)が準備工程 S 1 で準備されたSiC基板 1、(b)がアニール工程 S 2 を経たSiC基板 1 である。輪郭線の形状の比較から、Si面 1 1 1 の表面粗さは低減されたことが分かった。

[0249] 図 1 5 に、Si面 1 1 1 の算術平均粗さRa と基板厚との関係を示す。Si面 1 1 1 の算術平均粗さRaは、アニール工程 S 2 を経たことで、46.2 nmから13.7 nmに低減した。また、SiC基板 1 の基板厚は、アニール工程 S 2 を経たことで、400.0  $\mu\text{m}$ から409.8  $\mu\text{m}$ に増加した。これより、Si面 1 1 1 の表面粗さは、SiC基板 1 の基板厚をほとんど維持したまま、低減されたことが分かった。温度差の条件より、Si面 1 1 1 はエッチングされ、同時に、C面 1 1 2 は成長したと考えられる。また、Si面 1 1 1 でのエッチング量は、C面 1 1 2 の成長量に対して、略同一であった又は小さかったと考えられる。

## 実施例 2

[0250] 次の工程に従い、処理方法 X を行った。

[0251] 〈準備工程 S 1〉

次の特性が測定された基板をSiC基板1として準備した。なお、SiC基板1の測定による表面11への影響を除くため、SiC基板1を薬液で洗浄した。

[0252] 材料：4H-SiC

オフ角：4°

オフ方向：[11-20]方向

サイズ：6インチ

Si面111の算術平均粗さRa：46.2 nm

基板厚：400.0 μm

[0253] 〈アニール工程S2〉

次の工程に従い、SiC基板1をアニールした。

[0254] 〈収容工程S21〉

図6に示すようにして、SiC基板1を多結晶SiCで構成された坩堝2の内部に収容した。

[0255] 〈加熱工程S22〉

次の条件に沿い、SiC基板1を加熱した。

[0256] 導入ガス：Arガス

圧力：真空（ $\sim 10^{-4}$  kPa）、5 kPa、10 kPaのいずれか

温度：1800°C、2000°C、2200°Cのいずれか

温度差：基体21が高温、蓋22が低温

時間：1時間

[0257] 図16に、各条件に基づき処理されたSiC基板について、Si面111のレーザー顕微鏡像を示す。圧力が真空のときと比較して、圧力が5 kPa以上のときは、表面上の凹凸スケールが小さくなったことが分かった。加えて、温度が200°C以上のときは、表面上にステップ-テラス構造が発現した、すなわち、表面形状が整えられたことが分かった。

[0258] 算術平均高さSaは、温度が1800°Cのときにおいては、圧力が真空のとき70 nm、圧力が10 kPaのとき153 nmであり、温度が2000°Cのときにおいては、圧力が真空のとき174 nm、圧力が5 kPaのとき71 nmであり、圧力が10 kPaのと

き86 nmであり、温度が2200°Cのときにおいては、圧力が真空のとき242 nm、圧力が5 kPaのとき56 nmであり、圧力が10 kPaのとき54 nmであった。算術平均高さSaの比較から、圧力が5 kPa以上のとき、Si面111の表面粗さは明確に低減されたことが分かった。加えて、温度が2000°C以上のとき、Si面111の表面粗さは顕著に低減され、温度が2200°C以上のとき、Si面111の表面粗さはさらに顕著に低減されたことが分かった。

### 実施例 3

[0259] 実施例1に引き続き、次の工程に従い、処理方法Yを行った。なお、SiC基板1の測定による表面11への影響を除くため、SiC基板1を薬液で洗浄した。

[0260] 〈エッチング工程S3〉

次の工程に従い、SiC基板1をエッチングした。

[0261] 〈エッチング収容工程S31〉

図7に示すようにして、SiC基板1を坩堝2の内部に収容した。

[0262] 〈エッチング加熱工程S32〉

次の条件に沿い、SiC基板1を加熱した。このとき、坩堝2の内部は、SiC-C平衡蒸気圧環境である。

[0263] 導入ガス：なし

圧力：真空（原料ガス圧力）

温度：1600°C以上かつ2000°C以下（加熱工程S22での温度より低温）

温度差：基体21が高温、蓋22が低温

時間：1時間

[0264] 図14中、(c)がエッチング工程S3を経たSiC基板1である。輪郭線の形状の比較から、Si面111の表面粗さはさらに低減されたことが分かった。

[0265] Si面111の算術平均粗さRaは、エッチング工程S3を経たことで、13.7 nmから6.1 nmに低減した。また、SiC基板1の基板厚は、エッチング工程S3を経たことで、409.8  $\mu\text{m}$ から414.0  $\mu\text{m}$ に増加した。これより、Si面111の表面粗さは、SiC基板1の基板厚をほとんど維持したまま、低減されたこと

が分かった。温度差の条件より、Si面111はエッチングされ、同時に、C面112は成長したと考えられる。また、Si面111でのエッチング量は、C面112の成長量に対して、略同一であった又は小さかったと考えられる。

#### 実施例 4

[0266] 実施例3に引き続き、次の工程に従い、処理方法Zを行った。ただし、処理方法Zの第1エッチング工程S4は、実施例2のエッチング工程S3と同様である。なお、SiC基板1の測定による表面11への影響を除くため、SiC基板1を薬液で洗浄した。

[0267] 〈第2エッチング工程S5〉

次の工程に従い、SiC基板1をエッチングした。

[0268] 〈第2エッチング収容工程S51〉

図9に示すようにして、SiC基板1をSiガス源5とともに坩堝2の内部に収容した。

[0269] 〈第2エッチング加熱工程S52〉

次の条件に沿い、SiC基板1を加熱した。このとき、坩堝2の内部は、Si-C-Si平衡蒸気圧環境である。

[0270] 導入ガス：なし

圧力：真空（原料ガス圧力）

温度：1800℃以上2000℃以下（加熱工程S22での温度より低温かつ第1エッチング加熱工程S42での温度より高温）

温度差：基体21が高温、蓋22が低温

時間：1時間

[0271] 図14中、(d)が第2エッチング工程S5を経たSiC基板1である。輪郭線の形状の比較から、Si面111の表面粗さはさらに低減されたことが分かった。

[0272] Si面111の算術平均粗さRaは、第2エッチング工程S5を経たことで、6.1 nmから0.7 nmに低減した。また、SiC基板1の基板厚は、第2エッチング工程S5を経たことで、414.0 μmから426.1 μmに増加した。これより、Si

面 1 1 1 の表面粗さは、SiC基板 1 の基板厚をほとんど維持したまま、低減されたことが分かった。温度差の条件より、Si面 1 1 1 はエッチングされ、同時に、C面 1 1 2 は成長したと考えられる。また、Si面 1 1 1 でのエッチング量は、C面 1 1 2 の成長量に対して、略同一であった又は小さかったと考えられる。

### 実施例 5

[0273] 次の工程に従い、処理方法 V を行った。

[0274] 〈準備工程 S 1〉

次の特性が測定された基板をSiC基板 1 として準備した。なお、SiC基板 1 の測定による表面 1 1 への影響を除くため、SiC基板 1 を薬液で洗浄した。

[0275] 材料：4H-SiC

オフ角：4°

オフ方向：[11-20]方向

サイズ：3インチ

Si面 1 1 1 の算術平均粗さRa：60 nm以上

Si面 1 1 1 のフォトルミネッセンス像：図 1 7 左

[0276] 〈アニール工程 S 2〉

次の工程に従い、SiC基板 1 をアニールした。

[0277] 〈収容工程 S 2 1〉

図 6 に示すようにして、SiC基板 1 を多結晶SiCで構成された坩堝 2 の内部に収容した。

[0278] 〈加熱工程 S 2 2〉

次の条件に沿い、SiC基板 1 を加熱した。

[0279] 導入ガス：Arガス

圧力：10 kPa

温度：2200°C

温度差：基体 2 1 が高温、蓋 2 2 が低温

時間：1時間

## [0280] 〈第1エッチング工程S4〉

次の工程に従い、SiC基板1をエッチングした。

## [0281] 〈第1エッチング収容工程S41〉

図7に示すようにして、SiC基板1を坩堝2の内部に収容した。

## [0282] 〈第1エッチング加熱工程S42〉

次の条件に沿い、SiC基板1を加熱した。このとき、坩堝2の内部は、SiC-C平衡蒸気圧環境である。

## [0283] 導入ガス：なし

圧力：真空（原料ガス圧力）

温度：1800℃

温度差：基体21が高温、蓋22が低温

時間：1時間

## [0284] 〈第2エッチング工程S5〉

次の工程に従い、SiC基板1をエッチングした。

## [0285] 〈第2エッチング収容工程S51〉

図9に示すようにして、SiC基板1を坩堝2の内部に収容した。

## [0286] 〈第2エッチング加熱工程S52〉

次の条件に沿い、SiC基板1を加熱した。このとき、坩堝2の内部は、SiC-Si平衡蒸気圧環境である。

## [0287] 導入ガス：なし

圧力：真空（原料ガス圧力）

温度：1800℃

温度差：基体21が高温、蓋22が低温

時間：1時間

## [0288] 〈成長工程S6〉

次の工程に従い、SiC基板1を成長させた。

## [0289] 〈成長収容工程S61〉

図7に示すようにして、SiC基板1を坩堝2の内部に収容した。

[0290] 〈成長加熱工程 S 6 2〉

次の条件に沿い、SiC基板 1 を加熱した。このとき、坩堝 2 の内部は、SiC-C 平衡蒸気圧環境である。

[0291] 導入ガス：なし

圧力：真空（原料ガス圧力）

温度：1800℃

温度差：基体 2 1 が高温、蓋 2 2 が低温

時間：2時間

[0292] Si面 1 1 1 の算術平均粗さRaは、5 nm未満となった。また、Si面 1 1 1 のフォトルミネッセンス像は、図 1 7 右のようになった。なお、SiC基板 1 の全面において、BPDは3個（数密度は $0.07 \text{ cm}^{-2}$ ）、IGSFは12個（数密度は $0.27 \text{ cm}^{-2}$ ）であった。すなわち、Si面 1 1 1 の表面粗さは低減され、かつ、BPD及びIGSFはほとんど除去されていることが分かった。

### 符号の説明

[0293] X : 処理方法  
S 2 : アニール工程  
S 2 1 : 収容工程  
S 2 2 : 加熱工程  
1 : SiC基板  
1 1 : 表面  
1 1 1 : Si面  
1 1 2 : C面  
1 2 : 加工変質層  
2 : 坩堝  
2 1 : 基体  
2 2 : 蓋  
3 : 基板支持具  
d : 深さ

## 請求の範囲

- [請求項1] 不活性ガス環境下でSiC基板を加熱するアニール工程と、  
Si元素とC元素の一方又は両方で構成されたガスを含む環境下で、  
前記アニール工程を経た前記SiC基板をエッチングするエッチング工  
程と、を備える、SiC基板の処理方法。
- [請求項2] 前記アニール工程は、SiCで構成された坩堝の内部で前記SiC基板を  
加熱することを含み、  
前記アニール工程において、前記坩堝の内部は、前記不活性ガス環  
境に保持されている、請求項1に記載のSiC基板の処理方法。
- [請求項3] 前記アニール工程は、前記SiC基板の一方の表面をエッチングし、  
同時に、前記SiC基板の他方の表面を成長させることを含む、請求項  
1又は2に記載のSiC基板の処理方法。
- [請求項4] 前記アニール工程は、前記一方の表面でのエッチング量を、前記他  
方の表面での成長量に対して略同一とすることで、前記アニール工程  
の前後で、前記SiC基板の基板厚を略同一とすることを含む、請求項  
3に記載のSiC基板の処理方法。
- [請求項5] 前記アニール工程は、前記一方の表面でのエッチング量を、前記他  
方の表面での成長量に対して小さくすることで、前記アニール工程の  
前後で、前記SiC基板の基板厚を増加させることを含む、請求項3又  
は4に記載のSiC基板の処理方法。
- [請求項6] 前記アニール工程において、前記坩堝の内部の圧力は、5 kPa以上  
である、請求項2～5の何れか一項に記載のSiC基板の処理方法。
- [請求項7] 前記アニール工程において、前記坩堝の内部の圧力は、10 kPa以上  
である、請求項2～5の何れか一項に記載のSiC基板の処理方法。
- [請求項8] 前記アニール工程において、前記坩堝の内部の温度は、2000℃以上  
である、請求項2～7の何れか一項に記載のSiC基板の処理方法。
- [請求項9] 前記アニール工程において、前記坩堝の内部の温度は、2200℃以上  
である、請求項2～7の何れか一項に記載のSiC基板の処理方法。

- [請求項10] 前記アニール工程において、前記坩堝の内部の圧力と温度の組み合わせは、5 kPa以上と2000°C以上の組み合わせである、請求項2～9の何れか一項に記載のSiC基板の処理方法。
- [請求項11] 前記アニール工程において、前記坩堝の内部の圧力と温度の組み合わせは、5 kPa以上と2200°C以上の組み合わせである、請求項2～9の何れか一項に記載のSiC基板の処理方法。
- [請求項12] 前記アニール工程において、前記SiC基板の表面には、保護膜が形成されていない、請求項1～11の何れか一項に記載のSiC基板の処理方法。
- [請求項13] 前記エッチング工程は、SiCで構成された坩堝の内部で前記SiC基板を加熱することを含み、  
前記エッチング工程において、前記坩堝の内部は、Si元素とC元素の一方又は両方からなるガスを含む前記環境に保持されている、請求項1～12の何れか一項に記載のSiC基板の処理方法。
- [請求項14] 前記エッチング工程において、前記坩堝の内部は、SiC-C平衡蒸気圧環境に保持されている、請求項13に記載のSiC基板の処理方法。
- [請求項15] 前記エッチング工程において、前記坩堝の内部は、SiC-Si平衡蒸気圧環境に保持されている、請求項13に記載のSiC基板の処理方法。
- [請求項16] 前記エッチング工程において、前記坩堝の内部には、前記SiC基板を貫く方向かつ前記SiC基板のC面の側からSi面の側へ向かうにつれ温度が低くなる向きで温度勾配が形成されている、請求項13～15の何れか一項に記載のSiC基板の処理方法。
- [請求項17] 前記エッチング工程の後に、前記SiC基板に機械処理を行う工程を備えない、請求項13～16の何れか一項に記載のSiC基板の処理方法。
- [請求項18] 前記エッチング工程は、第1エッチング工程と、第2エッチング工程と、の少なくとも2回行われ、

前記第1エッチング工程は、前記アニール工程を経たSiC基板をエッチングすることを含み、

前記第2エッチング工程は、前記第1エッチング工程を経たSiC基板をエッチングすることを含み、

前記第1エッチング工程において、前記坩堝の内部は、SiC-C平衡蒸気圧環境に保持され、

前記第2エッチング工程において、前記坩堝の内部は、SiC-Si平衡蒸気圧環境に保持されている、請求項13～17の何れか一項に記載のSiC基板の処理方法。

[請求項19] Si元素とC元素の一方又は両方で構成されたガスを含む環境下で、前記エッチング工程を経た前記SiC基板を成長させる成長工程と、を備える、請求項1～18の何れか一項に記載のSiC基板の処理方法。

[請求項20] 前記成長工程は、SiCで構成された坩堝の内部で前記SiC基板を加熱することを含み、

前記成長工程において、前記坩堝の内部は、Si元素とC元素の一方又は両方からなるガスを含む前記環境に保持されている、請求項1～19の何れか一項に記載のSiC基板の処理方法。

[請求項21] 前記成長工程において、前記坩堝の内部は、SiC-C平衡蒸気圧環境に保持されている、請求項20に記載のSiC基板の処理方法。

[請求項22] 前記成長工程において、前記坩堝の内部は、SiC-Si平衡蒸気圧環境に保持されている、請求項20に記載のSiC基板の処理方法。

[請求項23] 前記成長工程において、前記坩堝の内部には、前記SiC基板を貫く方向かつ前記SiC基板のSi面の側からC面の側へ向かうにつれ温度が低くなる向きで温度勾配が形成されている、請求項20～22の何れか一項に記載のSiC基板の処理方法。

[請求項24] 前記成長工程は、第1成長工程と、第2成長工程と、の少なくとも2回行われ、

前記第1成長工程は、前記エッチング工程を経たSiC基板を成長さ

せることを含み、

前記第2成長工程は、前記第1成長工程を経たSiC基板を成長させることを含み、

前記第1成長工程において、前記坩堝の内部は、SiC-C平衡蒸気圧環境に保持され、

前記第2成長工程において、前記坩堝の内部は、SiC-Si平衡蒸気圧環境に保持されている、請求項20～23の何れか一項に記載のSiC基板の処理方法。

[請求項25] 加工変質層を有するSiC基板に対し、請求項1～24の何れか一項に記載のSiC基板の処理方法を行い、前記加工変質層を取り除くことを含む、SiC基板の加工変質層を取り除く方法。

[請求項26] 機械処理により前記加工変質層が形成された前記SiC基板に対し、前記処理方法を行うことを含む、請求項25に記載のSiC基板の加工変質層を取り除く方法。

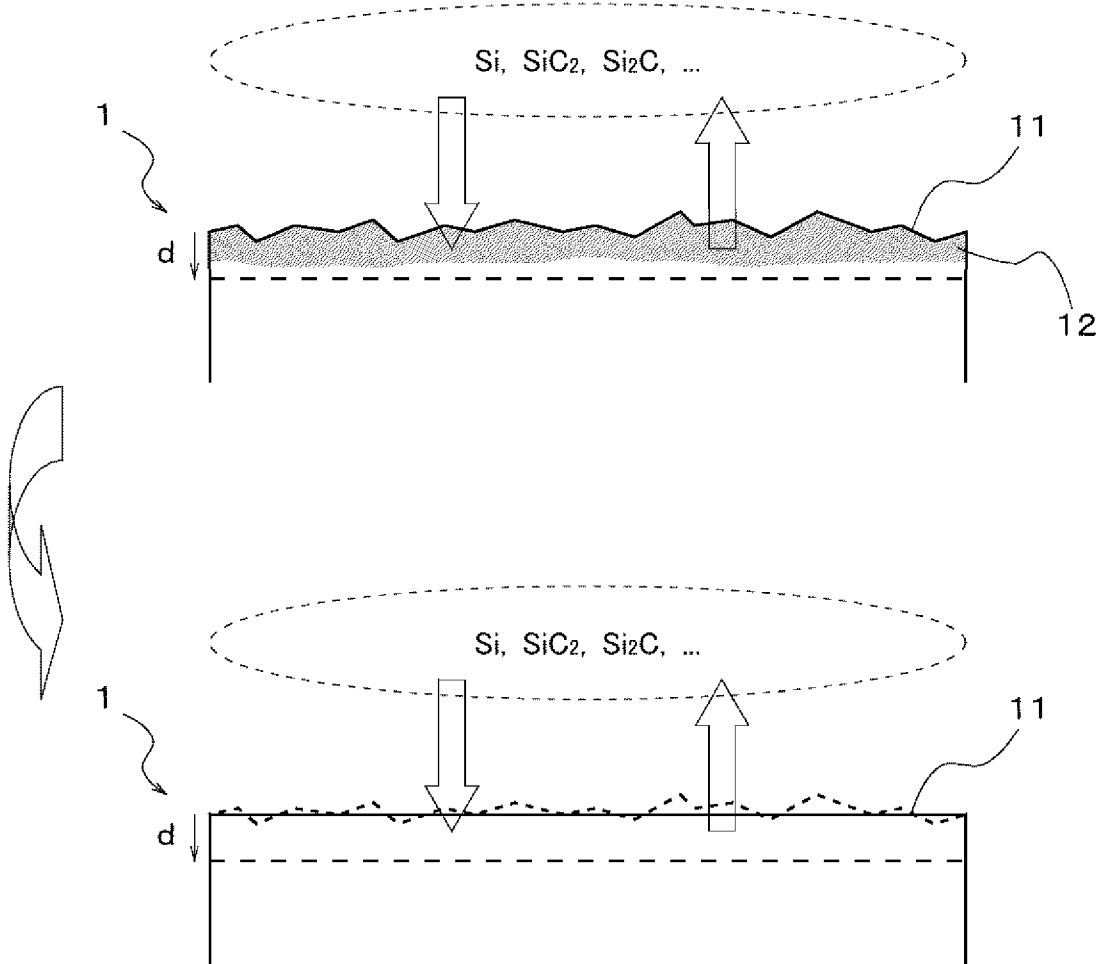
[請求項27] 前記アニール工程は、前記SiC基板の表層と前記不活性ガス環境との間で原子を入れ替え、前記加工変質層を取り除くことを含む、請求項25又は26に記載のSiC基板の加工変質層を取り除く方法。

[請求項28] Si面の算術平均粗さRaが15 nm以上であるSiC基板に対し、請求項1～24の何れか一項に記載のSiC基板の処理方法を行い、前記算術平均粗さRaを低減させることを含む、SiC基板の表面粗さを低減させる方法。

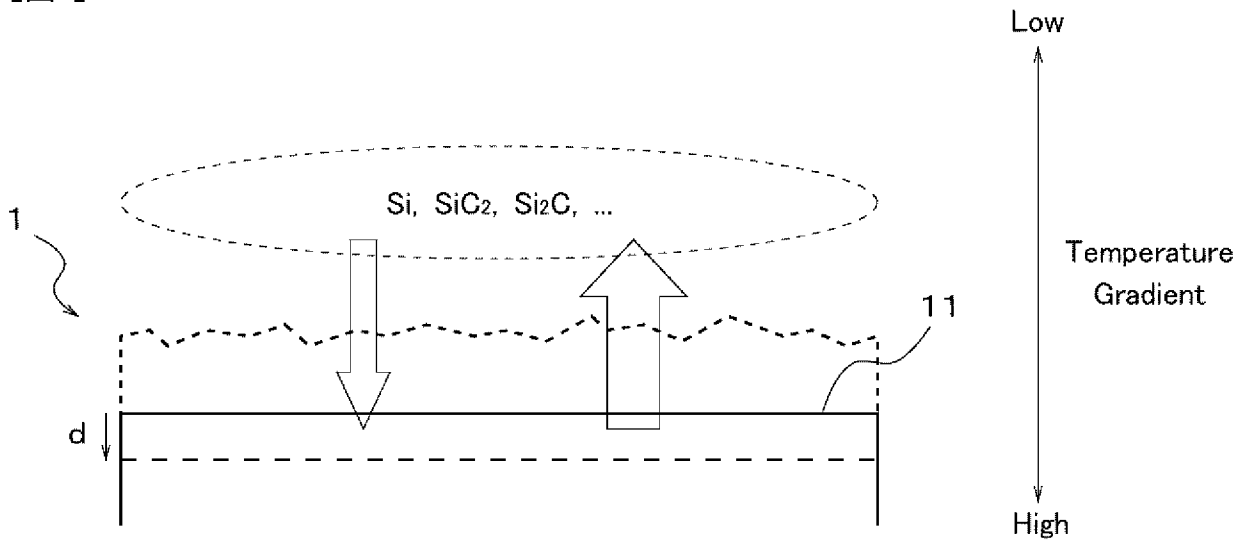
[請求項29] 機械処理を経た前記SiC基板に対し、前記処理方法を行うことを含む、請求項28に記載のSiC基板の表面粗さを低減させる方法。

[請求項30] 前記アニール工程は、前記SiC基板の表層と前記不活性ガス環境との間で原子を入れ替え、前記表層を均すことを含む、請求項28又は29に記載のSiC基板の表面粗さを低減させる方法。

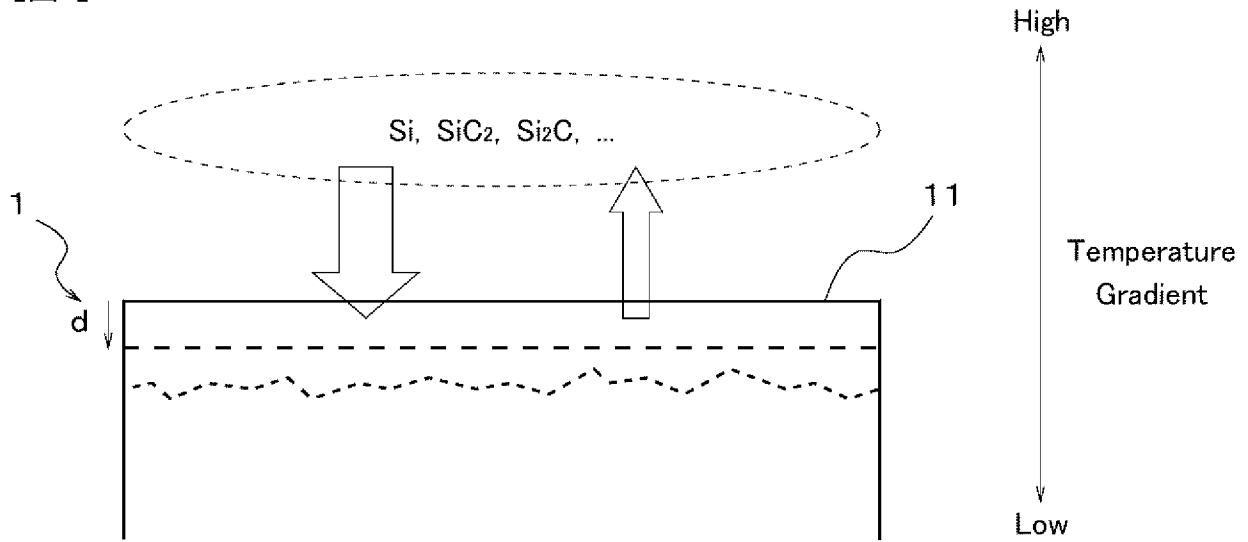
[図1]



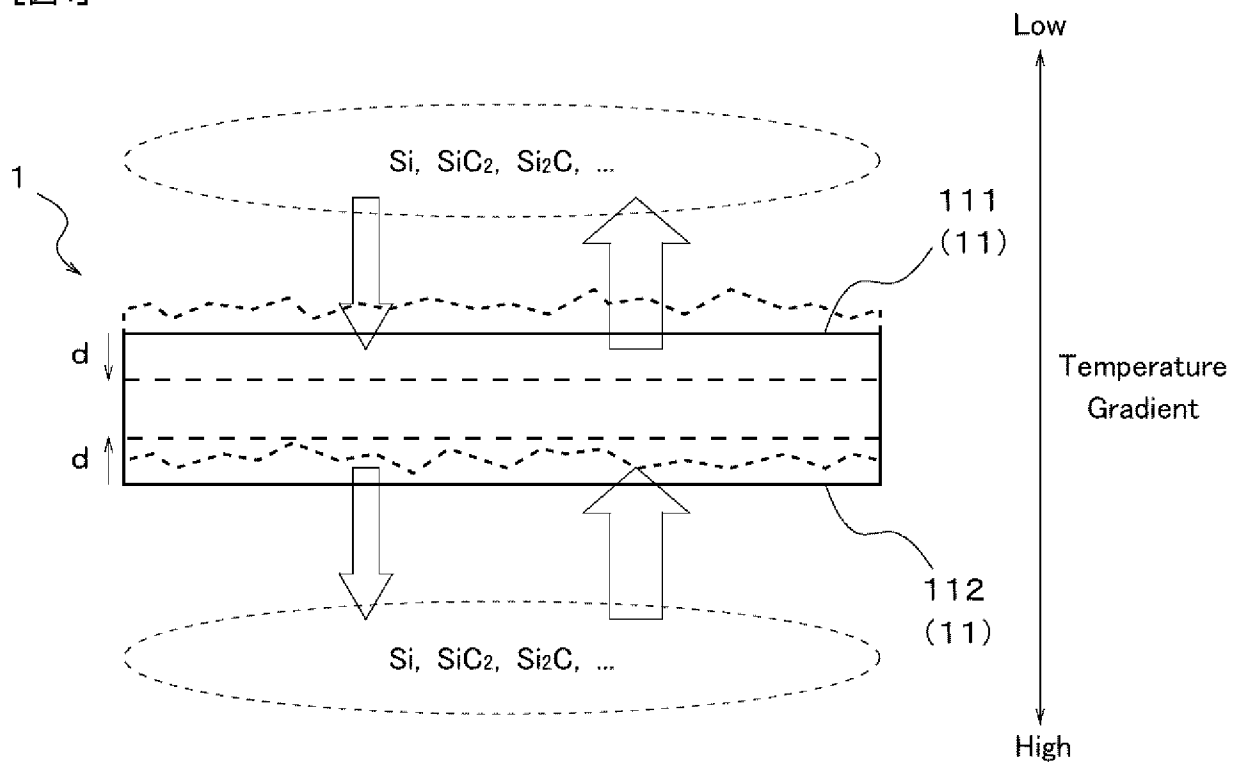
[図2]



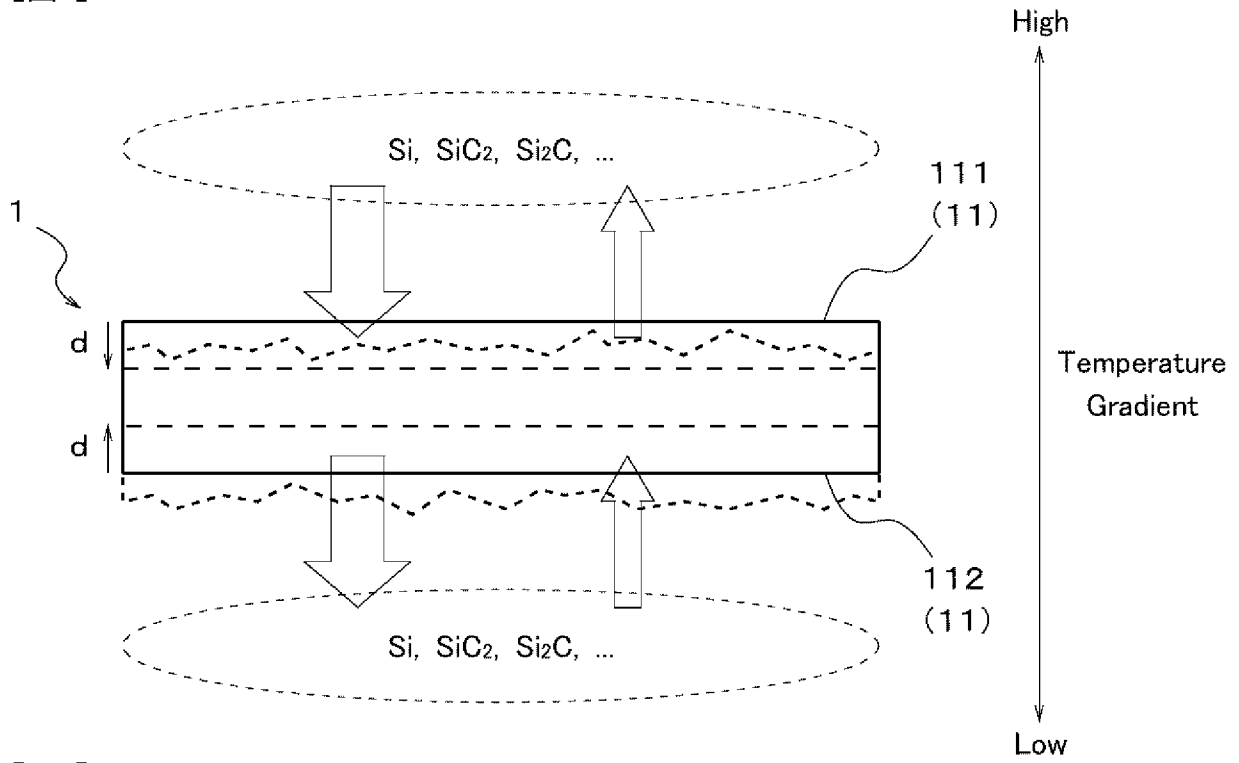
[図3]



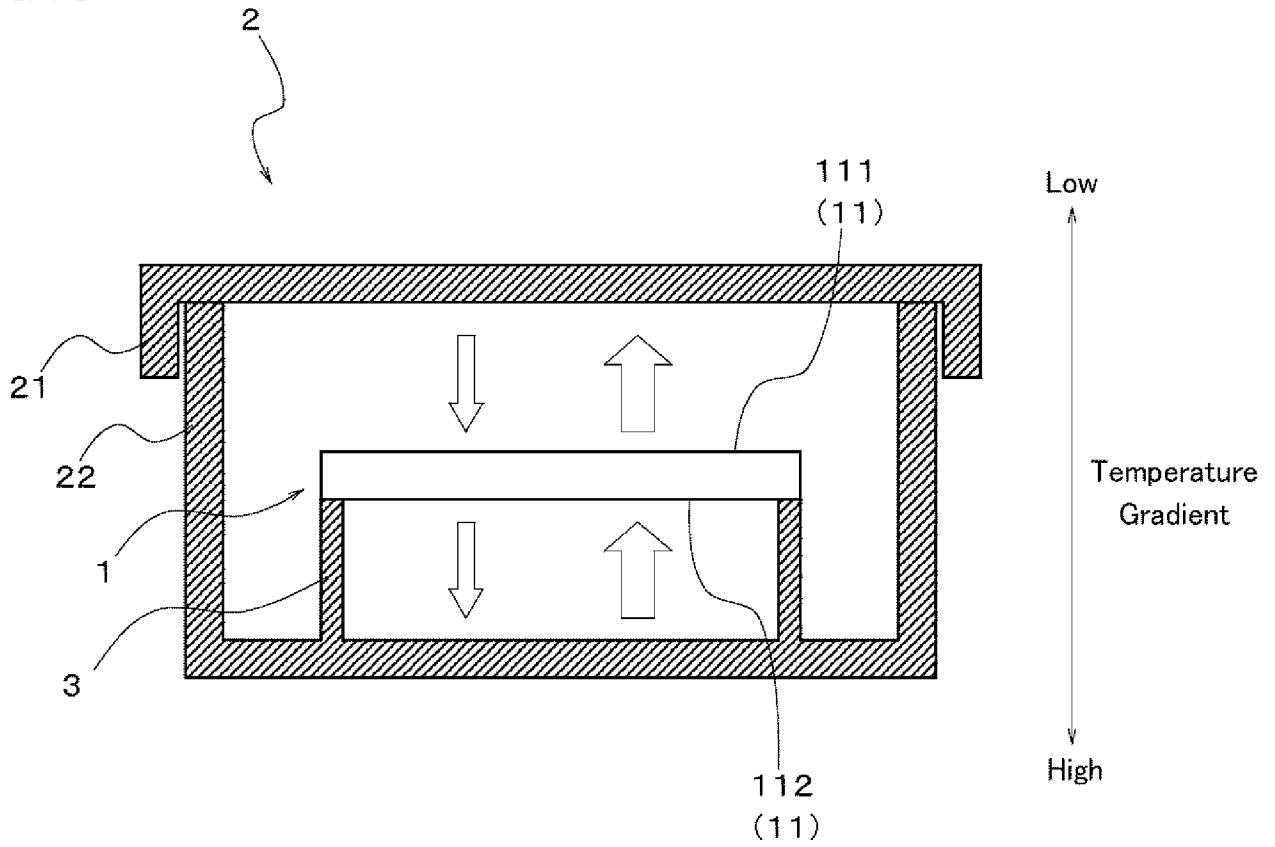
[図4]



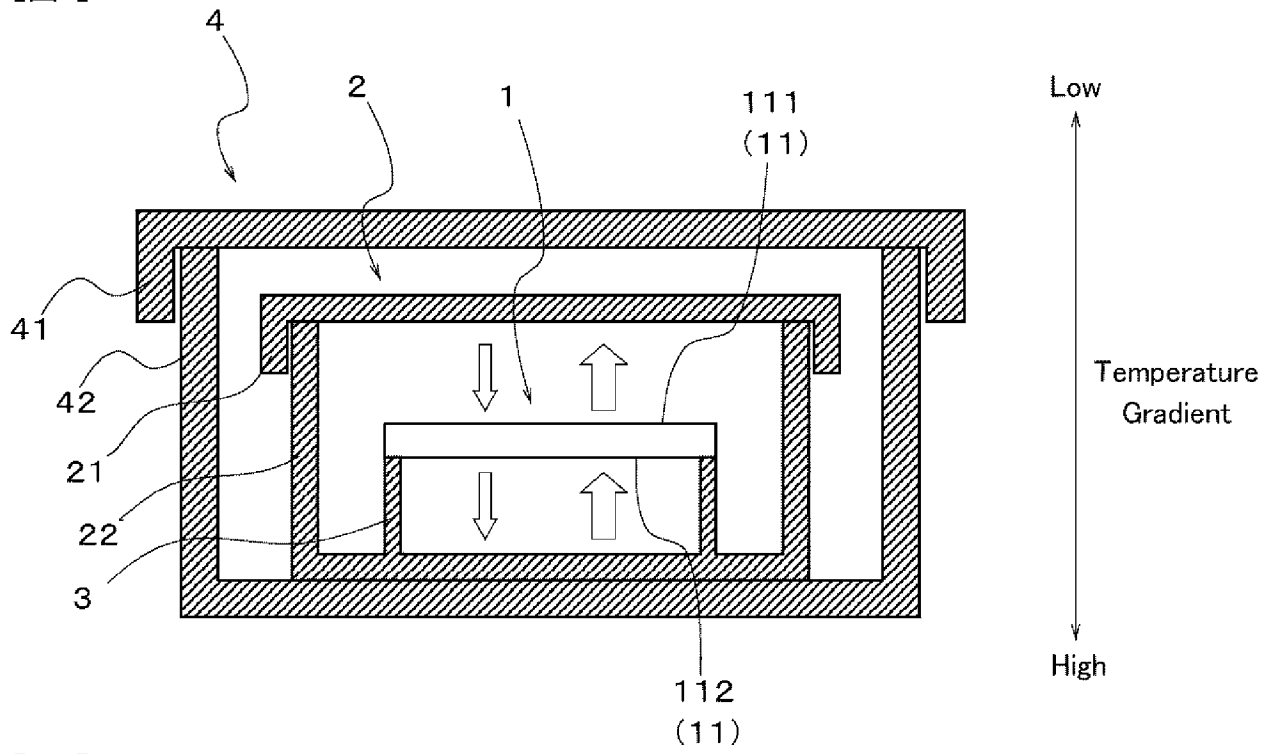
[図5]



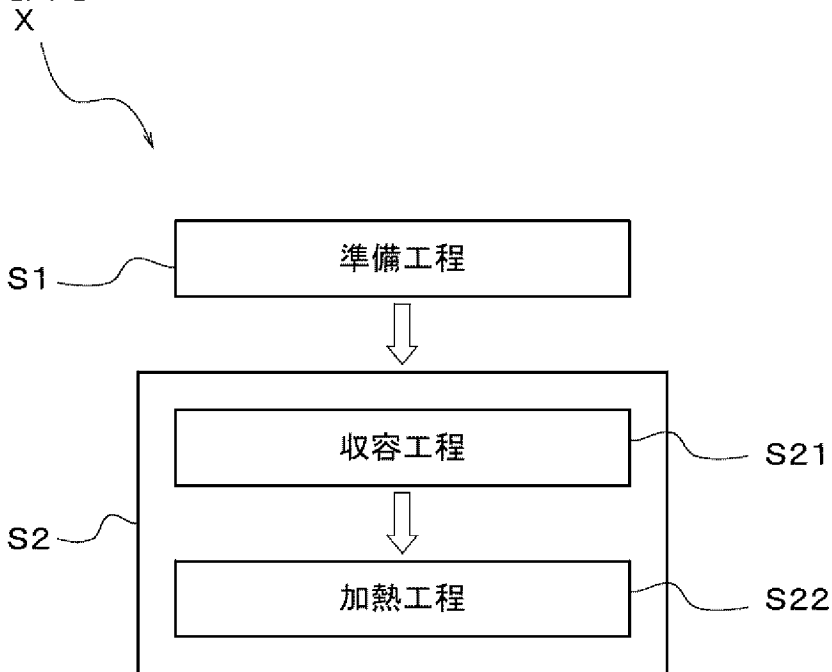
[図6]



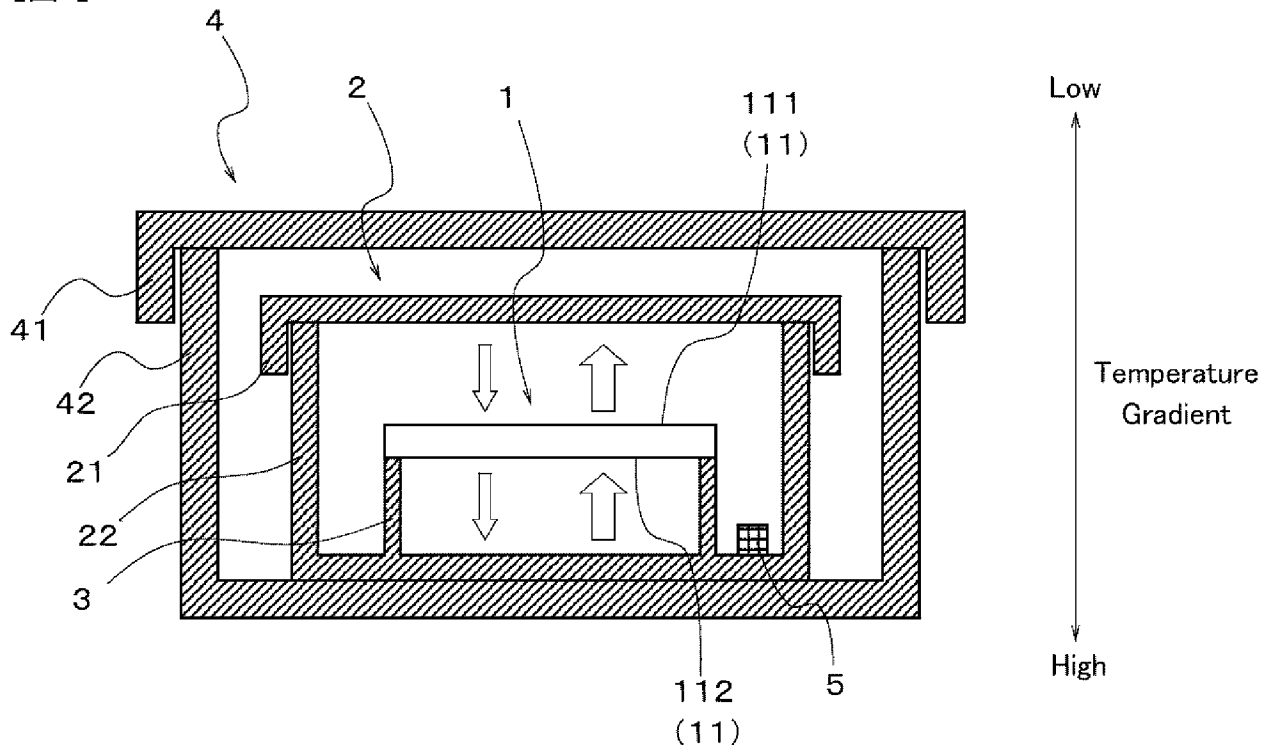
[図7]



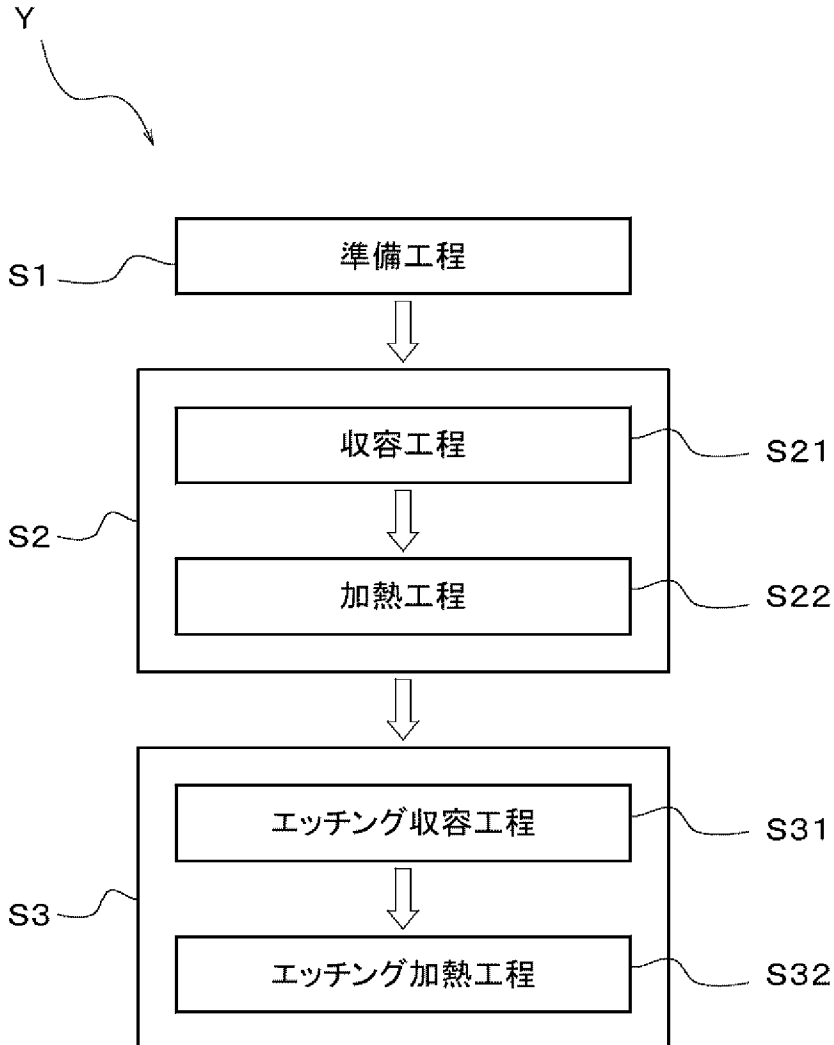
[図8]



[図9]

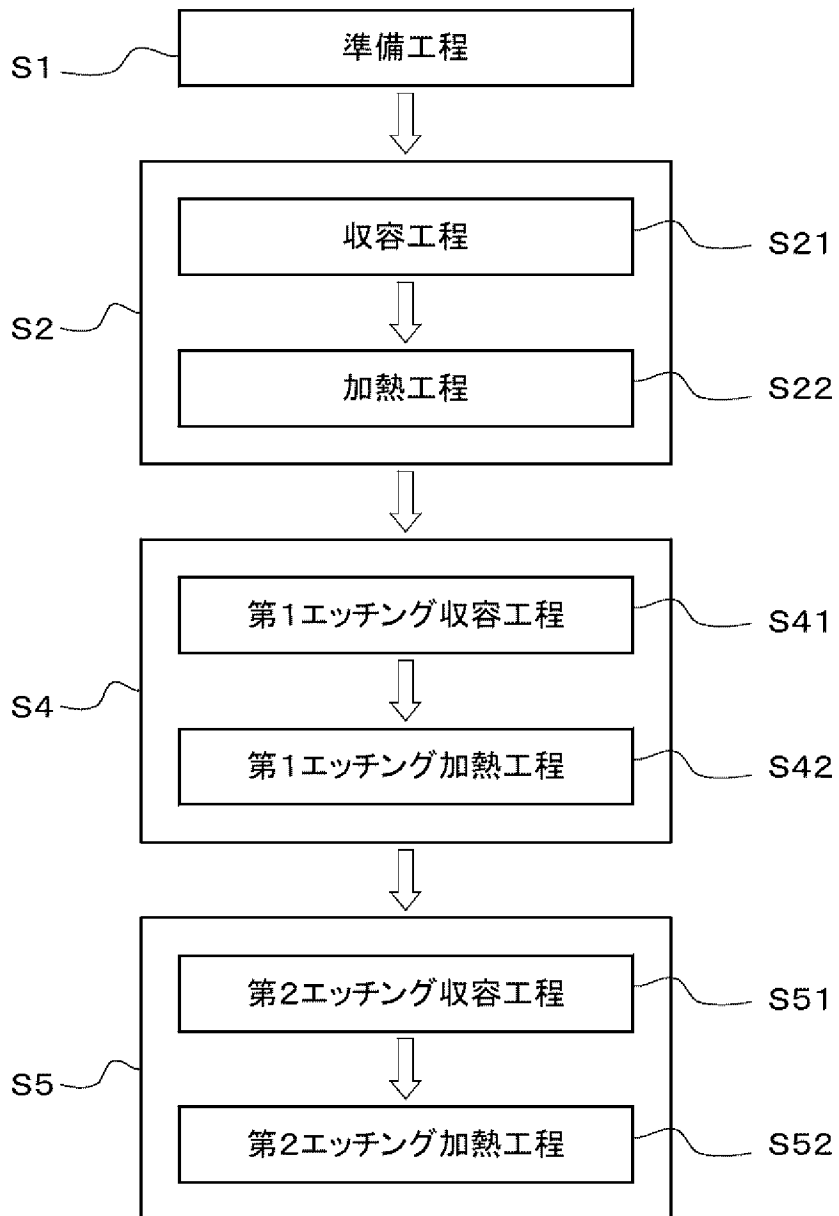


[図10]

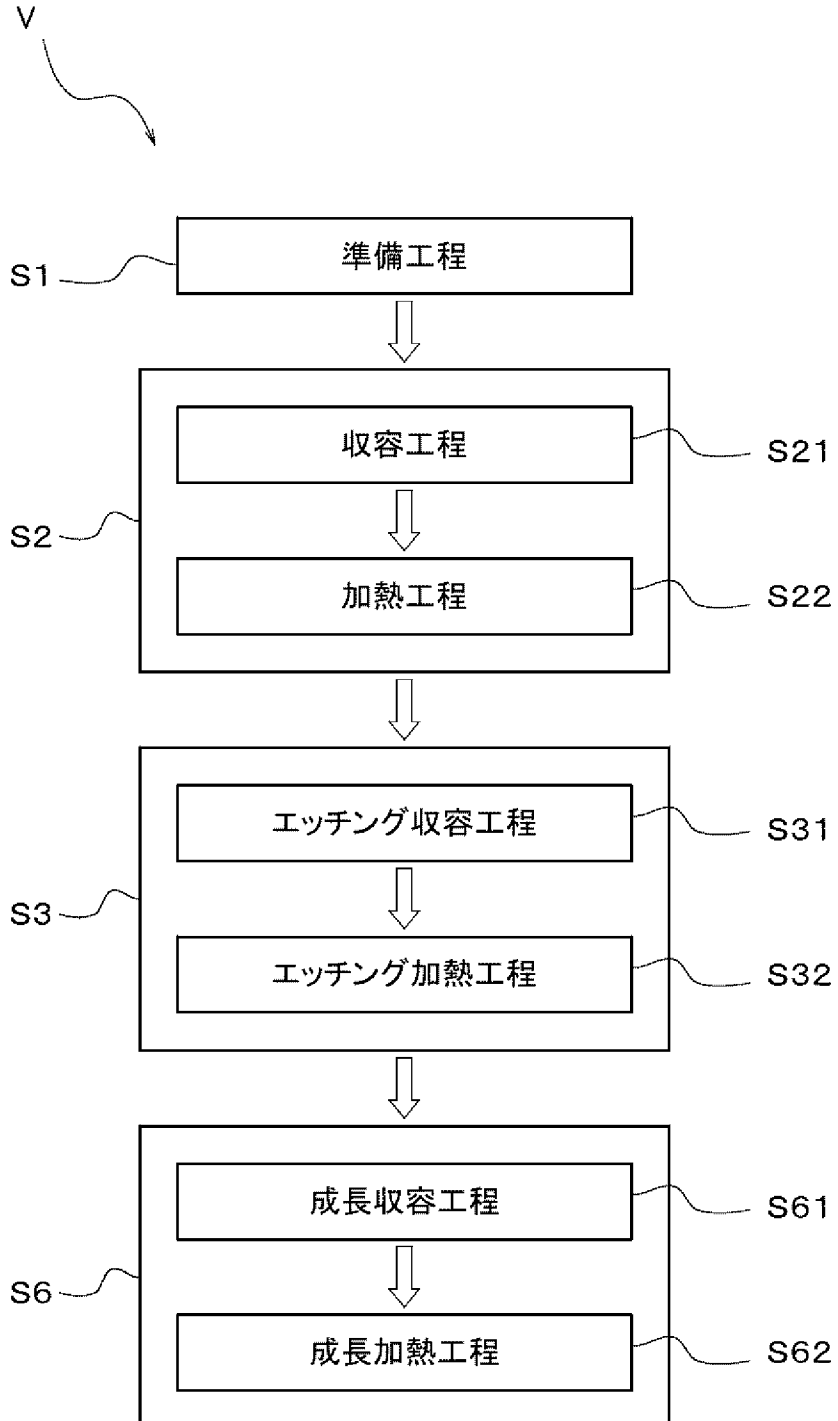


[図11]

Z

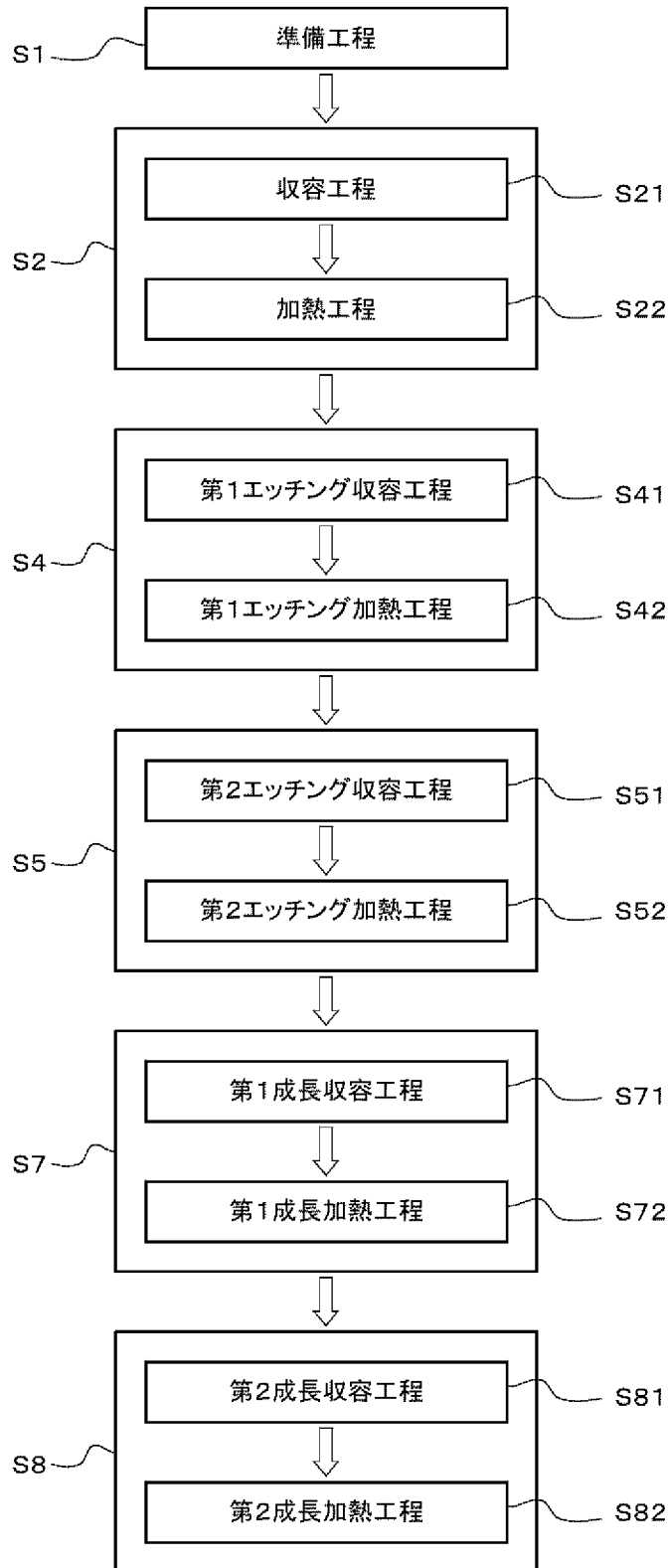


[図12]

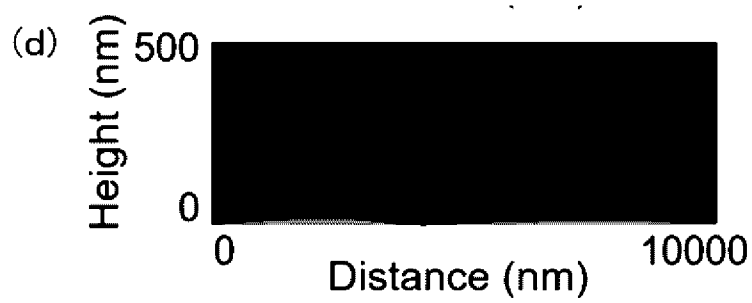
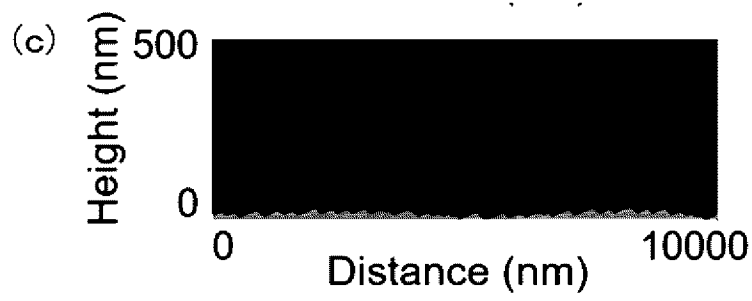
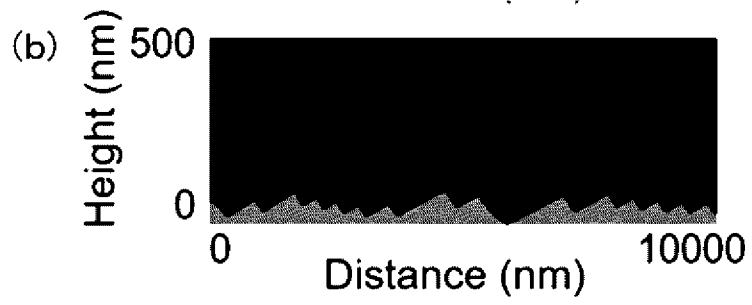
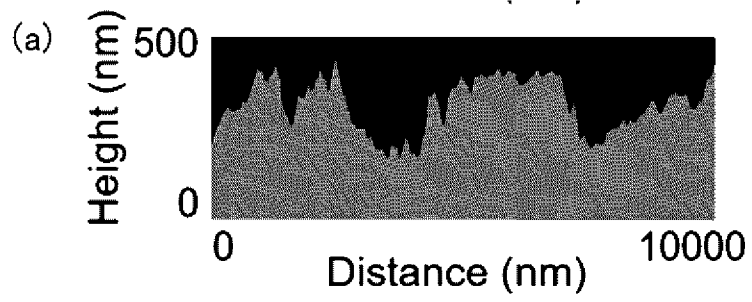


[図13]

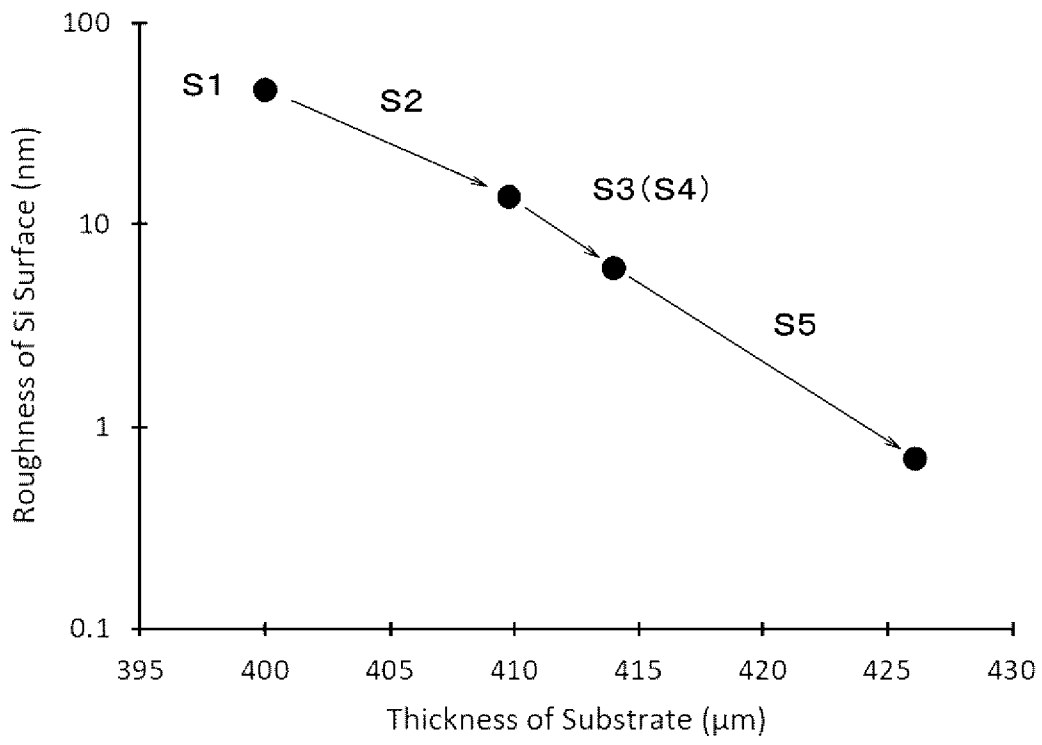
W



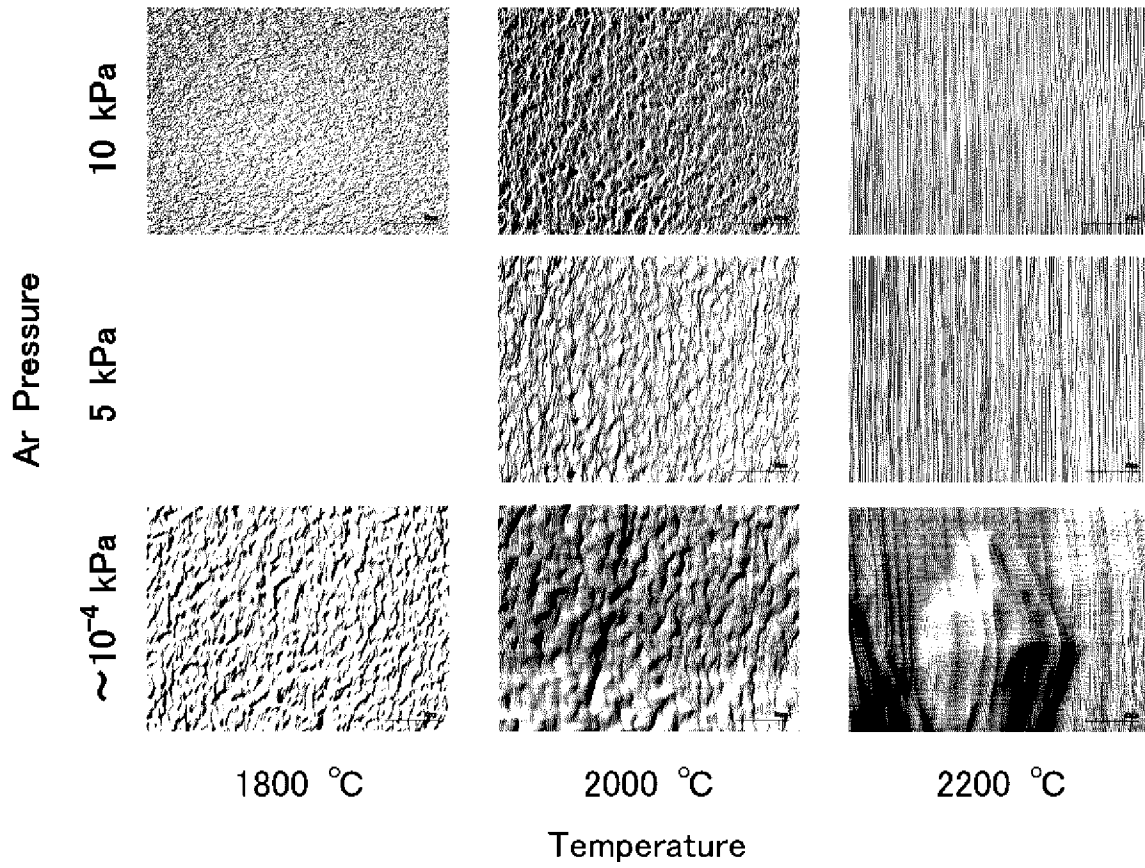
[図14]



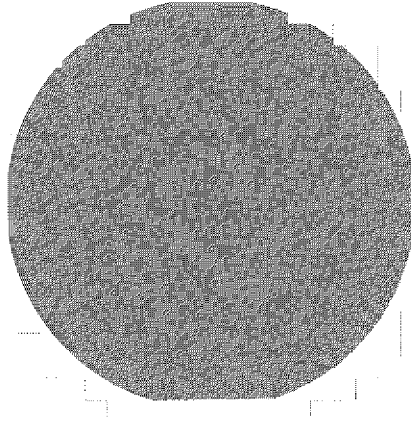
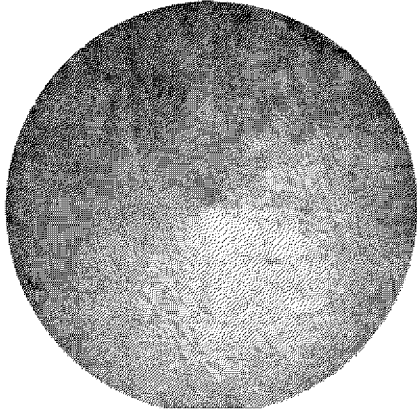
[図15]



[図16]



[図17]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/031153

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>C30B 29/36</i> (2006.01)i; <i>C30B 23/02</i> (2006.01)i; <i>C30B 33/12</i> (2006.01)i FI: C30B29/36 A; C30B33/12; C30B23/02		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) C30B29/36; C30B23/02; C30B33/12		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2018/174105 A1 (TOYO TANSO CO., LTD.) 27 September 2018 (2018-09-27) entire text, all drawings	1-30
A	JP 2006-36561 A (TOYODA GOSEI CO., LTD.) 09 February 2006 (2006-02-09) entire text, all drawings	1-30
A	JP 2018-158858 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 11 October 2018 (2018-10-11) entire text, all drawings	1-30
A	WO 2020/179795 A1 (KWANSEI GAKUIN EDUCATIONAL FOUNDATION) 10 September 2020 (2020-09-10) entire text, all drawings	1-30
A	WO 2016/079983 A1 (TOYO TANSO CO., LTD.) 26 May 2016 (2016-05-26) entire text, all drawings	1-30
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 "D" document cited by the applicant in the international application "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 <b>23 October 2024</b>		Date of mailing of the international search report <b>05 November 2024</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/JP2024/031153**

<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2021/060369 A1 (KWANSEI GAKUIN EDUCATIONAL FOUNDATION) 01 April 2021 (2021-04-01) entire text, all drawings	1-30
A	JP 2012-209415 A (KWANSEI GAKUIN EDUCATIONAL FOUNDATION) 25 October 2012 (2012-10-25) entire text, all drawings	1-30
A	JP 2003-234313 A (KANSAI TECHNOLOGY LICENSING ORGANIZATION CO., LTD.) 22 August 2003 (2003-08-22) entire text, all drawings	1-30

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/JP2024/031153**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2018/174105	A1	27 September 2018	US 2020/0095703 EP 3605585 CN 110431654 KR 10-2019-0129104 TW 201903225	A1 A1 A A A
JP	2006-36561	A	09 February 2006	(Family: none)	
JP	2018-158858	A	11 October 2018	(Family: none)	
WO	2020/179795	A1	10 September 2020	US 2022/0178048 US 2022/0181156 EP 3936643 EP 3936644 EP 4209626 CN 114174567 TW 202039944 TW 202044351 CN 114174565 CN 118087035	A1 A1 A1 A1 A1 A A A A A
WO	2016/079983	A1	26 May 2016	US 2017/0323797 EP 3223303 CN 107004592 KR 10-2017-0085085 TW 201630061	A1 A1 A A A
WO	2021/060369	A1	01 April 2021	US 2022/0359667 EP 4036282 CN 114424343 TW 202126866	A1 A1 A A
JP	2012-209415	A	25 October 2012	(Family: none)	
JP	2003-234313	A	22 August 2003	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） C30B 29/36(2006.01)i; C30B 23/02(2006.01)i; C30B 33/12(2006.01)i FI: C30B29/36 A; C30B33/12; C30B23/02		
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（IPC）） C30B29/36; C30B23/02; C30B33/12 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 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2024年 日本国実用新案登録公報 1996-2024年 日本国登録実用新案公報 1994-2024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
A	WO 2018/174105 A1 (東洋炭素株式会社) 27.09.2018 (2018-09-27) 全文、全図	1-30
A	JP 2006-36561 A (豊田合成株式会社) 09.02.2006 (2006-02-09) 全文、全図	1-30
A	JP 2018-158858 A (日本電信電話株式会社) 11.10.2018 (2018-10-11) 全文、全図	1-30
A	WO 2020/179795 A1 (学校法人関西学院) 10.09.2020 (2020-09-10) 全文、全図	1-30
A	WO 2016/079983 A1 (東洋炭素株式会社) 26.05.2016 (2016-05-26) 全文、全図	1-30
A	WO 2021/060369 A1 (学校法人関西学院) 01.04.2021 (2021-04-01) 全文、全図	1-30
A	JP 2012-209415 A (学校法人関西学院) 25.10.2012 (2012-10-25) 全文、全図	1-30
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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 “D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献 “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抵触するものではなく、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 23. 10. 2024	国際調査報告の発送日 05. 11. 2024	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 山本 一郎 4G 8395 電話番号 03-3581-1101 内線 3416	



国際調査報告  
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2024/031153

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2018/174105	A1	27.09.2018	US	2020/0095703	A1	
				EP	3605585	A1	
				CN	110431654	A	
				KR	10-2019-0129104	A	
				TW	201903225	A	
JP	2006-36561	A	09.02.2006	(ファミリーなし)			
JP	2018-158858	A	11.10.2018	(ファミリーなし)			
WO	2020/179795	A1	10.09.2020	US	2022/0178048	A1	
				US	2022/0181156	A1	
				EP	3936643	A1	
				EP	3936644	A1	
				EP	4209626	A1	
				CN	114174567	A	
				TW	202039944	A	
				TW	202044351	A	
				CN	114174565	A	
				CN	118087035	A	
				WO	2016/079983	A1	26.05.2016
EP	3223303	A1					
CN	107004592	A					
KR	10-2017-0085085	A					
TW	201630061	A					
WO	2021/060369	A1	01.04.2021	US	2022/0359667	A1	
				EP	4036282	A1	
				CN	114424343	A	
				TW	202126866	A	
JP	2012-209415	A	25.10.2012	(ファミリーなし)			
JP	2003-234313	A	22.08.2003	(ファミリーなし)			