

(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
2015 年 12 月 10 日(10.12.2015)



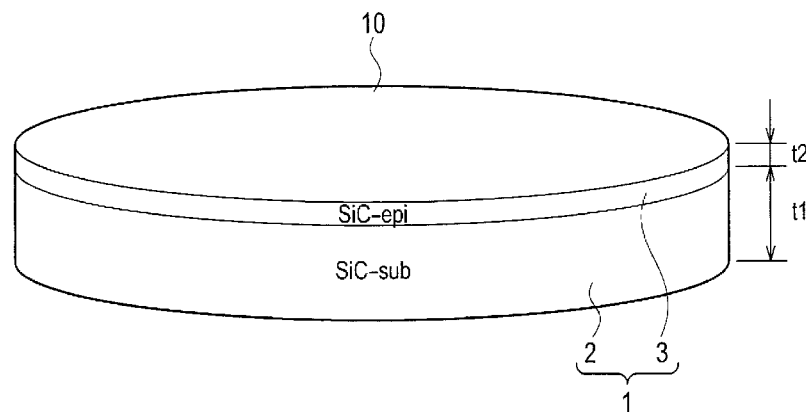
(10) 国際公開番号
WO 2015/186791 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/205 (2006.01) H01L 29/417 (2006.01)
H01L 21/28 (2006.01) H01L 29/423 (2006.01)
H01L 21/329 (2006.01) H01L 29/47 (2006.01)
H01L 21/336 (2006.01) H01L 29/49 (2006.01)
H01L 29/12 (2006.01) H01L 29/78 (2006.01)
H01L 29/41 (2006.01) H01L 29/872 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/066208
- (22) 国際出願日: 2015 年 6 月 4 日(04.06.2015)
- (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 2014-117310 2014 年 6 月 6 日(06.06.2014) JP
- (71) 出願人: ローム株式会社(ROHM CO., LTD.) [JP/JP];
〒6158585 京都府京都市右京区西院溝崎町 2 1
番地 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 田村 謙太郎(TAMURA, Kentaro); 〒
6158585 京都府京都市右京区西院溝崎町 2 1 番
地 ローム株式会社内 Kyoto (JP).
- (74) 代理人: 三好 秀和, 外(MIYOSHI, Hidekazu et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門一丁目 2 番 8 号
虎ノ門琴平タワー 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
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, 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).

[続葉有]

(54) Title: SIC EPITAXIAL WAFER, APPARATUS FOR PRODUCING SIC EPITAXIAL WAFER, METHOD FOR PRODUCING SIC EPITAXIAL WAFER, AND SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: SiCエピタキシャルウェハ、SiCエピタキシャルウェハの製造装置、SiCエピタキシャルウェハの製造方法、および半導体装置



(57) Abstract: This SiC epitaxial wafer (1) is provided with a substrate (2) and an SiC epitaxial growth layer (3) that is arranged on the substrate (2). The SiC epitaxial growth layer (3) uses an Si compound as an Si supply source and a C compound as a C supply source, and the Si compound and/or the C compound uses a compound containing fluorine (F) as a supply source thereof. In this connection, the Si compound is generally represented by $\text{Si}_n\text{H}_x\text{Cl}_y\text{F}_z$ (wherein $n \geq 1$, $x \geq 0$, $y \geq 0$, $z \geq 1$, and $x + y + z = 2n + 2$) and the C compound is represented by $\text{C}_m\text{H}_q\text{Cl}_r\text{F}_s$ (wherein $m \geq 1$, $q \geq 0$, $r \geq 0$, $s \geq 1$ and $q + r + s = 2m + 2$). Provided are: a high quality SiC epitaxial wafer which has excellent film thickness uniformity and carrier concentration uniformity, while having less surface defects; an apparatus for producing an SiC epitaxial wafer; a method for producing an SiC epitaxial wafer; and a semiconductor device.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2015/186791 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

— 補正された請求の範囲 (条約第 19 条(1))

S i C エピタキシャルウェハ (1) は、基板 (2) と、基板 (2) 上に配置された S i C エピタキシャル成長層 (3) とを備え、S i C エピタキシャル成長層 (3) は、S i 化合物を S i の供給源とし、C 化合物を C の供給源とし、S i 化合物と C 化合物の両方、またはいずれか一方は、フッ素 (F) を含む化合物を供給源として備える。ここで、S i 化合物は、一般的に、 $S i_n H_x C l_y F_z$ ($n \geq 1$, $x \geq 0$, $y \geq 0$, $z \geq 1$, $x + y + z = 2n + 2$) で表わされ、C 化合物は、 $C_m H_q C l_r F_s$ ($m \geq 1$, $q \geq 0$, $r \geq 0$, $s \geq 1$, $q + r + s = 2m + 2$) で表わされる。膜厚均一性およびキャリア濃度均一性に優れ、表面欠陥の少ない高品質な S i C エピタキシャルウェハ、S i C エピタキシャルウェハの製造装置、S i C エピタキシャルウェハの製造方法、および半導体装置を提供する。

明 細 書

発明の名称：

S i Cエピタキシャルウェハ、S i Cエピタキシャルウェハの製造装置、
S i Cエピタキシャルウェハの製造方法、および半導体装置

技術分野

[0001] 本実施形態は、S i Cエピタキシャルウェハ、S i Cエピタキシャルウェハの製造装置、S i Cエピタキシャルウェハの製造方法、および半導体装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、S i半導体に比べて高耐压化、大電流化、低オン抵抗化、高効率化、低消費電力化、高速スイッチングなどを実現できるシリコンカーバイド（S i C：Silicon Carbide:炭化ケイ素）半導体が注目されている。

[0003] 従来のS i Cエピタキシャル成長では、S iの供給源としては、モノシラン（S i H₄）、トリクロロシラン（S i H C l₃）、ジクロロシラン（S i H₂ C l₂）、テトラクロロシラン（S i C l₄）などを適用する。これらの原料の結合は、S i－H結合またはS i－C l結合で表記される。

[0004] 一方、所定の線密度以下のステップバンチングが形成されたS i Cエピタキシャル成長層を利用し、高品質かつ高信頼性の素子を作製できるS i Cエピタキシャルウェハも知られている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：国際公開第2 0 1 2／1 4 4 6 1 4号

特許文献2：米国特許第8， 1 6 3， 0 8 6号明細書

特許文献3：特開2 0 1 3－6 3 8 9 1号公報

非特許文献

[0006] 非特許文献1：マーチン・エル・ハモンド（Martin L. Hammond）著，“第2章 化学的気相堆積によるシリコンエピタキシャル成長（2/ Silicon Epitax

y by Chemical Vapor Deposition) ”, クリシュナ・セシャン (Krishna Ses han) 編、「薄膜デポジション技術ハンドブッカー原理・方法・装置および応用 (Handbook of Thin film Deposition Techniques Principles, Methods, Equipment and Applications)」第2版 (Second Edition)、ウィリアムアンドリュース社 (William Andrew Inc.)、2001年、pp.45-110

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] Si-H結合の方がSi-C結合よりも結合エネルギーが低いため、SiCのエピタキシャル成長温度では、Si-H結合の方がSi-C結合よりも過剰に解離する。Si-H結合の方が過剰に解離した結果、原料がエピタキシャル成長用基板に到達するよりも前に気相中で反応してしまい、パーティクルを生成させる。この結果、発生したパーティクルは、エピタキシャルウェハ表面に、欠陥を発生させ、結果として歩留りを低下させ、品質の悪いエピタキシャルウェハとなってしまう。

[0008] また、過剰な気相反応においては、解離した原料と未反応な原料の割合は原料が流れている途中で変化するため、膜厚分布や濃度分布に影響し、均一性に優れたウェハを供給することが難しい。

[0009] 本実施形態は、膜厚均一性およびキャリア濃度均一性に優れ、表面欠陥の少ない高品質なSiCエピタキシャルウェハ、SiCエピタキシャルウェハの製造装置、SiCエピタキシャルウェハの製造方法、および半導体装置を提供する。

課題を解決するための手段

[0010] 実施の形態の一態様によれば、基板と、前記基板上に配置されたSiCエピタキシャル成長層とを備え、前記SiCエピタキシャル成長層は、Si化合物をSiの供給源とし、C化合物をCの供給源とし、前記Si化合物と前記C化合物の両方、またはいずれか一方は、フッ素を含む化合物を供給源として備えるSiCエピタキシャルウェハが提供される。

[0011] 実施の形態の他の態様によれば、SiCインゴットを準備し、オフ角を付

けて切り出し、研磨してS i Cベアウェハを形成する工程と、前記S i Cベアウェハの切り出し面を除去し、S i C基板を形成する工程と、前記S i C基板の主面上に酸化膜を形成する工程と、前記酸化膜を除去する工程と、前記S i C基板上に、S i Cエピタキシャル成長層を結晶成長させる工程とを有し、供給される原料ガスは、S iの供給源となるS i化合物およびCの供給源となるC化合物を備え、前記S i化合物と前記C化合物の両方、またはいずれか一方は、フッ素を含む化合物を備えるS i Cエピタキシャルウェハの製造方法が提供される。

[0012] 実施の形態の他の態様によれば、ガス注入口と、ガス排気口と、加熱部と、反応炉とを備え、供給される原料ガスは、S iの供給源となるS i化合物およびCの供給源となるC化合物を備え、前記S i化合物と前記C化合物の両方、またはいずれか一方は、フッ素を含む化合物を備えるS i Cエピタキシャルウェハの製造装置が提供される。

[0013] 実施の形態の他の態様によれば、上記のS i Cエピタキシャルウェハを適用した半導体装置が提供される。

発明の効果

[0014] 本実施形態によれば、膜厚均一性およびキャリア濃度均一性に優れ、表面欠陥の少ない高品質なS i Cエピタキシャルウェハ、S i Cエピタキシャルウェハの製造装置、S i Cエピタキシャルウェハの製造方法、および半導体装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1] S i、C、N、Fの結合エネルギーをまとめた図。

[図2] 比較例に係るS iのエピタキシャル成長において、成長速度の温度依存性を示す図。

[図3] 比較例に係るS iのエピタキシャル成長において、原料、成長速度、温度範囲、酸化剤許容量の成長条件をまとめた図。

[図4] 実施の形態に係るS i CエピタキシャルウェハのS i Cエピタキシャル成長において、成長速度の温度依存性を示す図。

[図5]実施の形態に係るSiCエピタキシャルウェハの模式的鳥瞰構成図。

[図6] (a) 実施の形態に係るSiCエピタキシャルウェハに適用可能な4H-SiC結晶のユニットセルの模式的鳥瞰構成図、(b) 4H-SiC結晶の2層部分の模式的構成図、(c) 4H-SiC結晶の4層部分の模式的構成図。

[図7]図6 (a) に示す4H-SiC結晶のユニットセルを(0001)面の真上から見た模式的構成図。

[図8]実施の形態に係るSiCエピタキシャルウェハの製造方法を示す模式的鳥瞰構造図であって、(a) 六方晶SiCインゴットを準備し、(0001)面に対してオフ角 θ を付けて切り出し、研磨して複数枚のSiCベアウェハを形成する工程図、(b) 機械加工後、SiCベアウェハの切り出し面(0001)面を500nm以上除去する工程図、(c) SiC基板の主面(0001)面を酸化処理することにより、SiC基板の主面に酸化膜を形成する工程図、(d) SiC基板上に、SiCエピタキシャル成長層を形成する工程図。

[図9]実施の形態に係るSiCエピタキシャルウェハのエピ品質イメージ例であって、ウェハ上のパーティクルを含めた表面凹凸欠陥密度が約 0.07 cm^{-2} (欠陥数12個(150mm Φ ウェハの場合))。

[図10]比較例に係るSiCエピタキシャルウェハのエピ品質イメージ例であって、ウェハ上のパーティクルを含めた表面凹凸欠陥密度が約 1 cm^{-2} (欠陥数173個(150mm Φ ウェハの場合))。

[図11]実施の形態に係るSiCエピタキシャル成長において、成長温度と時間との関係を示す図(CVD温度プロファイル例1)。

[図12]実施の形態に係るSiCエピタキシャル成長において、成長温度と時間との関係を示す図(CVD温度プロファイル例2)。

[図13]実施の形態に係るSiCエピタキシャル成長において、成長温度と時間との関係を示す図(CVD温度プロファイル例3)。

[図14]実施の形態に係るSiCエピタキシャル成長に適用可能な第1の製造

装置の模式的構成図。

[図15]実施の形態に係るS i Cエピタキシャル成長に適用可能な第2の製造装置の模式的構成図。

[図16]実施の形態に係るS i Cエピタキシャル成長に適用可能な第3の製造装置の模式的構成図。

[図17]実施の形態に係るS i Cエピタキシャル成長に適用可能な第4の製造装置の模式的構成図。

[図18]実施の形態に係るS i Cエピタキシャルウェハを用いて作製したショットキーバリアダイオードの模式的断面構造図。

[図19]実施の形態に係るS i Cエピタキシャルウェハを用いて作製したトレンチゲート型M O S F E Tの模式的断面構造図。

[図20]実施の形態に係るS i Cエピタキシャルウェハを用いて作製したプレーナゲート型M O S F E Tの模式的断面構造図。

発明を実施するための形態

[0016] 次に、図面を参照して、実施の形態を説明する。以下の図面の記載において、同一又は類似の部分には同一又は類似の符号を付している。ただし、図面は模式的なものであり、厚みと平面寸法との関係、各層の厚みの比率等は現実のものとは異なることに留意すべきである。したがって、具体的な厚みや寸法は以下の説明を参酌して判断すべきものである。又、図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれていることはもちろんである。

[0017] 又、以下に示す実施の形態は、技術的思想を具体化するための装置や方法を例示するものであって、構成部品の材質、形状、構造、配置等を下記のものに特定するものでない。この実施の形態は、特許請求の範囲において、種々の変更を加えることができる。

[0018] [比較例]

比較例に係るS iのエピタキシャル成長において、成長速度の温度依存性は、図2に示すように表わされる。図2において、破線S Lは、S iのエピ

タキシャル成長において、供給律速 (Diffusion Control) 領域DCと、反応律速 (Kinetic Control) 領域KCとの境界線を表す。

[0019] また、比較例に係るSiのエピタキシャル成長において、原料、成長速度、温度範囲、酸化剤許容量の成長条件は、図3に示すように表わされる。ここで、酸化剤は、反応炉やサセプタから供給される水蒸気などであり、許容量以下に抑える必要がある。

[0020] 比較例に係るSiエピタキシャル成長では、原料となるSiの供給源として、 SiH_4 、 SiHCl_3 、 SiH_2Cl_2 、 SiCl_4 などを適用する。

[0021] 比較例に係るSiエピタキシャル成長では、 SiCl_4 を用いる場合の成長速度は0.4～1.5 ($\mu\text{m}/\text{分}$)、成長温度は1150℃～1250℃であり、 SiHCl_3 を用いる場合の成長速度は0.4～3.0 ($\mu\text{m}/\text{分}$)、成長温度は1100℃～1200℃であり、 SiH_2Cl_2 を用いる場合の成長速度は0.3～2.0 ($\mu\text{m}/\text{分}$)、成長温度は1050℃～1150℃であり、 SiH_4 を用いる場合の成長速度は0.1～0.3 ($\mu\text{m}/\text{分}$)、成長温度は950℃～1050℃である。

[0022] Si、C、N、F、Clの結合エネルギーD (kJ/mol) は、一般的に、図1に示すように表わされる。例えば、Si-Siの結合エネルギーは222 (kJ/mol) であるのに対して、Si-Cの結合エネルギーは318 (kJ/mol)、Si-Nの結合エネルギーは355 (kJ/mol)、Si-Clの結合エネルギーは381 (kJ/mol)、Si-Fの結合エネルギーは565 (kJ/mol) である。

[0023] また、C-Nの結合エネルギーは305 (kJ/mol)、C-Siの結合エネルギーは318 (kJ/mol)、C-Cの結合エネルギーは346 (kJ/mol)、C-Hの結合エネルギーは411 (kJ/mol)、C-Fの結合エネルギーは485 (kJ/mol)、C=Cの結合エネルギーは602 (kJ/mol)、C≡Cの結合エネルギーは835 (kJ/mol) である。

[0024] また、N-Nの結合エネルギーは167 (kJ/mol)、N-Fの結合

エネルギーは283 (kJ/mol)、N-Cの結合エネルギーは305 (kJ/mol)、N-Clの結合エネルギーは313 (kJ/mol)、N-Siの結合エネルギーは355 (kJ/mol)、N-Hの結合エネルギーは386 (kJ/mol)、N=Nの結合エネルギーは418 (kJ/mol)、N=Siの結合エネルギーは942 (kJ/mol)である。

[0025] 一方、F-Fの結合エネルギーは155 (kJ/mol)、Cl-Clの結合エネルギーは240 (kJ/mol)、F-Nの結合エネルギーは283 (kJ/mol)、Cl-Nの結合エネルギーは305 (kJ/mol)、Cl-Siの結合エネルギーは313 (kJ/mol)、Cl-Cの結合エネルギーは327 (kJ/mol)、Cl-Siの結合エネルギーは381 (kJ/mol)、F-Cの結合エネルギーは485 (kJ/mol)、F-Siの結合エネルギーは485 (kJ/mol)、F-Hの結合エネルギーは565 (kJ/mol)、F-Siの結合エネルギーは565 (kJ/mol)である。

[0026] ここで、SiCのエピタキシャル成長温度、例えば、約1600℃を想定した場合、Si-H結合の方がSi-Cl結合よりも結合エネルギーが低いため、SiCのエピタキシャル成長温度では、Si-H結合の方がSi-Cl結合よりも過剰に解離する。Si-H結合の方が過剰に解離した結果、原料がエピタキシャル成長用基板に到達するよりも前に気相中で反応してしまい、パーティクルを生成させる。この結果、発生したパーティクルは、エピタキシャルウェハ表面に、パーティクル、ダウンフォール、三角欠陥などの欠陥を発生させ、結果としてデバイスとして使用できる領域を制限してしまうため、品質の悪いエピタキシャルウェハとなってしまう。

[0027] Si-Cl結合を用いることで、Si-H結合よりも解離する温度は高くなるが、1600℃以上というSiCのエピタキシャル成長温度では、やはり過剰に解離してしまう。

[0028] 同様に、化合物に含まれるすべての結合が、C-H結合、C-C結合、C-Cl結合で表記されるCの原料の場合もSiCのエピタキシャル成長温度

では、気相反応を抑制させるという点では十分ではない。SiとCを同時に含む化合物原料を適用する場合も同様である。

[0029] また、過剰な気相反応は、さらなる課題が発生する。解離した原料と未反応な原料の割合は原料が流れている途中で常に変化する。その結果、膜厚分布や濃度分布に影響し、均一性に優れたウェハを供給することが難しい。

[0030] [実施の形態]

実施の形態に係るSiCエピタキシャルウェハのSiCエピタキシャル成長において、成長速度の温度依存性は、図4に示すように表わされる。図4において、破線CLは、SiCのエピタキシャル成長において、物質輸送律速（供給律速、Diffusion Control）領域DCと、表面反応律速（Kinetic Control）領域KCとの境界線を表す。また、図4において、矢印TRで示される領域が、SiCのエピタキシャル成長に適用可能な温度範囲であり、例えば、約1600℃以上である。上限は、例えば、融点に近い約2700℃である。望ましくは、SiCのエピタキシャル成長に適用可能な温度範囲は、1600℃以上2200℃以下である。

[0031] 実施の形態に係るSiCエピタキシャルウェハ1は、図5に示すように、基板2と、基板2上に配置されたSiCエピタキシャル成長層3とを備える。ここで、SiCエピタキシャル成長層は、Si化合物をSiの供給源とし、C化合物をCの供給源とする。また、Si化合物とC化合物の両方、またはいずれか一方は、フッ素（F）を含む化合物を供給源として備える。

[0032] Si化合物としては、例えば、 SiF_4 、 SiH_3F 、 SiH_2F_2 、若しくは SiHF_3 のいずれかの材料で構成されていても良い。 SiF_4 、 SiH_3F 、 SiH_2F_2 、 SiHF_3 などの材料には、Si-F結合が存在する。他には、Si化合物としては、塩素（Cl）を含む化合物を用いても良い。

[0033] また、Si化合物としては、一般的には、以下で表記可能である。すなわち、 $\text{Si}_n\text{H}_x\text{Cl}_y\text{F}_z$ （ $n \geq 1$ 、 $x \geq 0$ 、 $y \geq 0$ 、 $z \geq 1$ 、 $x + y + z = 2n + 2$ ）で表わされる材料で構成されていても良い。

[0034] また、C化合物としては、 CF_4 、 C_2F_6 、 C_3F_8 、 C_4F_6 、 C_4F_8 、 C_5F_8 、

CHF_3 、 CH_2F_2 、 CH_3F 、若しくは C_2HF_5 のいずれかの材料で構成されていても良い。 CF_4 、 C_2F_6 、 C_3F_8 、 C_4F_6 、 C_4F_8 、 C_5F_8 、 CH_3F 、 CH_2F_2 、 CHF_3 、 C_2HF_5 などの材料には、 $\text{C}-\text{F}$ 結合が存在する。他には、 C 化合物には、塩素(Cl)を含む化合物を用いても良い。

[0035] また、 C 化合物としては、一般的には、以下で表記可能である。すなわち、 $\text{C}_m\text{H}_q\text{Cl}_r\text{F}_s$ ($m \geq 1$ 、 $q \geq 0$ 、 $r \geq 0$ 、 $s \geq 1$ 、 $q + r + s = 2m + 2$) で表わされる材料で構成されていても良い。

[0036] また、 SiC エピタキシャル成長層3は、 $4\text{H}-\text{SiC}$ 、 $6\text{H}-\text{SiC}$ 、 $2\text{H}-\text{SiC}$ 、若しくは $3\text{C}-\text{SiC}$ のいずれかの材料で構成されていても良い。

[0037] 基板は、 $4\text{H}-\text{SiC}$ 、 $6\text{H}-\text{SiC}$ 、 BN 、 AlN 、 Al_2O_3 、 Ga_2O_3 、ダイヤモンド、カーボン、若しくはグラファイトのいずれかで表わされる材料で構成されていても良い。

[0038] 実施の形態に係る SiC エピタキシャルウェハの SiC エピタキシャル成長において、キャリアガスとしては、 H_2 、 Ar 、 HCl 、 F_2 のいずれか1つ以上を適用可能である。

[0039] $\text{Si}-\text{F}$ 結合は、 $\text{Si}-\text{H}$ 結合または $\text{Si}-\text{Cl}$ 結合よりも結合エネルギーが高いため、 SiC エピタキシャル成長に適している。 $\text{Si}-\text{F}$ 結合は、 1600°C 以上の高温でも解離し難いため、気相反応を抑制できるという特長がある。気相反応が抑制された結果として、パーティクル、ダウンフォール、三角欠陥などの欠陥の発生が抑制される。したがって、製造歩留りが向上し、欠陥があるためにデバイス形成に利用できない領域を狭めることができ、品質の向上したウェハを提供可能である。

[0040] 基板表面では、反応速度が、温度で制限されているため、供給濃度の分布に影響されず、温度の均一性が、膜厚均一性およびキャリア濃度の均一性に影響するため、制御性に優れた SiC エピタキシャル成長が可能になる。

[0041] 反応速度が温度で制限された状態であれば、 SiC エピタキシャルウェハが、数10枚以上の多数枚成長が容易になり、エピタキシャルウェハの生産

性が向上する。

[0042] SiCエピタキシャル成長では、相対的に低温側(図4の境界線CLの右側)では、表面反応律速領域KCになり、相対的に高温側(図4の境界線CLの左側)では、物質輸送律速(供給律速)領域DCになる。原料の結合エネルギーが高いほど、表面反応律速から物質輸送律速に切り替わる温度は高くなる。例えば、SiH₄は、結合エネルギーの低いSi-H結合のみで構成されている。

[0043] SiH₄は相対的に低温側にあり、Si-Cl結合(Si-H結合より結合エネルギーが高い)が含まれるSiH₂Cl₂やSiCl₄は、SiH₄よりも相対的に高温側にある。

[0044] さらに、Si-F結合(Si-Cl結合より結合エネルギーが高い)が含まれるSiH₂F₂やSiF₄は、相対的に高温側にある。SiCのエピタキシャル成長に必要な温度領域は、図の横軸で0.6よりも左側の矢印TRで示される領域になるので、この温度領域で、表面反応律速となる原料としては、Si-F結合を含む原料が好ましい。

[0045] (SiCエピタキシャルウェハ)

実施の形態に係るSiCエピタキシャルウェハの模式的鳥瞰構成は、図5に示すように表わされる。

[0046] SiCエピタキシャルウェハ1は、例えば、4H-SiCからなり、SiC基板2と、SiC基板2に積層されたSiCエピタキシャル成長層3とを備える。SiC基板2の厚さt₁は、例えば、約200μm～約500μmであり、SiCエピタキシャル成長層3の厚さt₂は、例えば、約4μm～約100μmである。

[0047] (結晶構造)

実施の形態に係るSiCエピタキシャルウェハ1に適用可能な4H-SiC結晶のユニットセルの模式的鳥瞰構成は、図6(a)に示すように表わされ、4H-SiC結晶の2層部分の模式的構成は、図6(b)に示すように表され、4H-SiC結晶の4層部分の模式的構成は、図6(c)に示すよ

うに表される。

[0048] また、図6 (a) に示す4 H-S i Cの結晶構造のユニットセルを(0 0 0 1)面の真上から見た模式的構成は、図7に示すように表される。

[0049] 図6 (a) ~図6 (c) に示すように、4 H-S i Cの結晶構造は、六方晶系で近似することができ、1つのS i原子に対して4つのC原子が結合している。4つのC原子は、S i原子を中央に配置した正四面体の4つの頂点に位置している。これらの4つのC原子は、1つのS i原子がC原子に対して[0 0 0 1]軸方向に位置し、他の3つのC原子がS i原子に対して[0 0 0 -1]軸側に位置している。

[0050] [0 0 0 1]軸および[0 0 0 -1]軸は六角柱の軸方向に沿い、この[0 0 0 1]軸を法線とする面(六角柱の頂面)が(0 0 0 1)面(S i面)である。一方、[0 0 0 -1]軸を法線とする面(六角柱の下面)が(0 0 0 -1)面(C面)である。

[0051] また、[0 0 0 1]軸に垂直であり、かつ(0 0 0 1)面の真上から見た場合において六角柱の互いに隣り合わない頂点を通る方向がそれぞれ、a 1軸[2 -1 -1 0]、a 2軸[-1 2 -1 0]およびa 3軸[-1 -1 2 0]である。

[0052] 図7に示すように、a 1軸とa 2軸との間の頂点を通る方向が[1 1 -2 0]軸であり、a 2軸とa 3軸との間の頂点を通る方向が[-2 1 1 0]軸であり、a 3軸とa 1軸との間の頂点を通る方向が[1 -2 1 0]軸である。

[0053] 六角柱の各頂点を通る上記6本の軸の各間において、その両側の各軸に対して30°の角度で傾斜していて、六角柱の各側面の法線となる軸がそれぞれ、a 1軸と[1 1 -2 0]軸との間から時計回りに順に、[1 0 -1 0]軸、[1 -1 0 0]軸、[0 -1 1 0]軸、[-1 0 1 0]軸、[-1 1 0 0]軸および[0 1 -1 0]軸である。これらの軸を法線とする各面(六角柱の側面)は、(0 0 0 1)面および(0 0 0 -1)面に対して直角な結晶面である。

[0054] (S i Cエピタキシャルウェハの製造方法)

実施の形態に係るS i Cエピタキシャルウェハの製造方法は、S i Cインゴットを準備し、オフ角を付けて切り出し、研磨してS i Cベアウェハを形成する工程と、S i Cベアウェハの切り出し面を除去し、S i C基板を形成する工程と、S i C基板の主面上に酸化膜を形成する工程と、酸化膜を除去する工程と、S i C基板上に、S i Cエピタキシャル成長層を結晶成長させる工程とを有する。ここで、供給される原料ガスは、S iの供給源となるS i化合物およびCの供給源となるC化合物を備える。また、S i化合物とC化合物の両方、またはいずれか一方は、Fを含む化合物を備える。

[0055] 4 H－S i Cインゴットを、(0 0 0 1)面に対して[1 1－2 0]軸方向に4度のオフ角を付けて切り出すことにより、S i Cベアウェハを得た。ウェハの直径は、約1 5 0 m mである。

[0056] 次に、S i Cベアウェハの切り出された面を研磨加工し、エピタキシャルウェハに適切な面を得た。研磨加工では、ウェハ端のベベル加工なども含み、機械的な加工だけでは加工ダメージを十分に除去できないため、化学的な効果も利用して、研磨表面を仕上げた。

[0057] エピタキシャル成長する前に、研磨表面は十分に洗浄し、表面を清浄にする。ここで、洗浄方法としては、R C A洗浄、ブラシ洗浄、機能水洗浄、メガソニック洗浄などを用いることができる。

[0058] ウェハ設置後の反応炉内の圧力は、例えば、約1 k P a～約1 0 0 k P aに保たれている。反応炉内には、原料のキャリアガスとなるH₂を供給する。H₂以外にA rガスを供給しても良い。

[0059] キャリアガスにH C lまたはH Fを混合することで、気相反応が抑制され、エピタキシャルウェハ上のパーティクルの発生を抑制し、高品質なウェハを供給可能である。

[0060] 実施の形態に係るS i Cエピタキシャルウェハの製造方法を示す模式的鳥瞰構成であって、六方晶S i Cインゴット1 3を準備し、(0 0 0 1)面に対してオフ角 θ を付けて切り出し、研磨して複数枚のS i Cベアウェハ1 4

を形成する工程は、図8（a）に示すように表わされる。また、機械加工後、SiCベアウェハ14の切り出し面15を除去する工程は、図8（b）に示すように表わされる。さらに、SiC基板2の主面4を酸化処理することにより、SiC基板2の主面4上に酸化膜を形成する工程は、図8（c）に示すように表わされる。また、SiC基板2上に、SiCエピタキシャル成長層3を形成する工程は、図8（d）に示すように表わされる。

[0061] （a）まず、図8（a）に示すように、六方晶SiCインゴット13を準備する。次に、SiCインゴット13を、（0001）面に対して $[11\bar{2}0]$ 軸方向に 4° 以下のオフ角 θ を付けて切り出し、複数枚のSiCベアウェハ14を得る。次に、SiCベアウェハ14の切り出し面15（（0001）面）を、ラップ加工などの機械加工により研磨する。

[0062] （b）次に、図8（b）に示すように、切り出し面15（（0001）面）を、例えば、約500nm以上除去する。除去方法は、例えば、化学機械研磨（CMP：Chemical Mechanical Polishing）技術、プラズマエッチング技術などを適用することができる。好ましくは、プラズマエッチングで行う。SiCは非常に硬い材料であるため、ダメージの少ないCMPで500nm以上除去するには数時間必要であるが、プラズマエッチングでは20分程度の短時間で済む。一方、SiCベアウェハ14の切り出し面15については、SiCは非常に硬いため、プラズマエッチングによるダメージは少ない。以上の除去工程により、切り出し後の機械加工により発生したSiCベアウェハ14の切り出し面15のダメージ層が十分に除去され、厚さ t_1 として、例えば、約200 μm ～約500 μm のSiC基板2が得られる。

[0063] （c）次に、図10（c）に示すように、SiC基板2の主面4（0001）面を酸化処理し、SiC基板2の主面4に酸化膜16を形成する。酸化処理は、ドライ酸化法、ウェット酸化法のどちらで行なってもよい。なお、図示は省略するが、当該酸化膜16は、SiC基板2の裏面および周面にも形成される。その後、フッ酸（HF）を用いて、酸化膜16を除去する。この酸化膜16の形成工程および除去工程を行うことにより、CMPやプラズ

マエッチングで除去しきれなかったSiCベアウェハ14の切り出し面15のダメージ層、CMPやプラズマエッチングの際に発生した変質層（ダメージ層）を確実に除去することができる。なお、酸化膜16の形成工程および除去工程は、500nm以上の除去処理後だけでなく、除去処理前でのみ行ってもよいし、除去処理の前後両方で行ってもよい。

[0064] (d) 次に、図10(d)に示すように、SiC基板2上に、SiCエピタキシャル成長層3を結晶成長させる。

[0065] 原料として、例えば、SiF₄とC₃F₈を供給した。SiF₄とC₃F₈は、それぞれH₂ガスで希釈して、反応炉内へ供給した。希釈濃度は、10%であるが、この値には限定されない。

[0066] エピタキシャル成長温度は、1600℃以上で実施し、例えば、約1750℃が適切であった。

[0067] エピタキシャル成長したウェハ表面を検査した結果、ウェハ上のパーティクルを含めた表面凹凸欠陥密度は、0.07cm⁻²以下であった。すなわち、150mmウェハ（150mm Φ ウェハ）上で10個程度の欠陥しか発生せず、表面凹凸欠陥の少ない高品質なウェハが得られた。

[0068] ウェハのオフ角は、4度よりも小さくても良い。また、成長面は、C面、（11-20）面、（10-10）面であっても良い。

[0069] 4H-SiC以外にも6H-SiCを用いることもできる。ウェハは、1600℃以上に加熱され、水素で希釈したC₃H₈を反応炉内へ供給し、SiCホモエピタキシャル成長を実施した。原料は、SiF₄の代わりにSiHF₃を用いることもできる。

[0070] 1800℃以上の高温でエピタキシャル成長するために、C₃H₈の代わりにCHF₃を用いた。

[0071] Si-F結合は、Si-H結合またはSi-Cl結合よりも結合エネルギーが高い。結合エネルギーが高い方が高温でも結合が解離し難いため、過剰な反応を抑制可能である。

[0072] 実施の形態に係るSiCエピタキシャルウェハおよび製造装置において、

S i - F 結合を含む原料は、S i Cのエピタキシャル成長に適した温度で結合の解離が始まる。その結果、気相反応が抑制され、S i C基板表面で、パーティクル、ダウンフォール、三角欠陥などの欠陥の発生が抑制される。したがって、製造歩留りが向上し、欠陥があるためにデバイス形成に利用できない領域を狭めることができ、品質の向上したウェハを提供可能である。

[0073] さらに、反応速度が、供給濃度よりも基板濃度で制限されるようになるため、温度の均一性がそのまま膜厚均一性およびキャリア濃度の均一性になるため、均一性に優れた品質の良好なS i Cエピタキシャルウェハを得ることができる。

[0074] 同様に、C - F 結合は、C - H 結合、C - C l 結合、C - C 結合よりも結合エネルギーが高いため、S i - F 結合を含む化合物と組み合わせて使用することで、さらに高い効果が得られる。

[0075] (成長温度範囲)

成長温度範囲の下限値は、約1400℃である。装置の温度の下限値は厳密には、反応炉内の水素の流量及び流速に依存する。水素の流量及び流速が大きければ、水素がS i Cエピタキシャルウェハから熱を奪うため下限値は上昇する。逆に、水素の流量及び流速が小さければ、水素がS i Cエピタキシャルウェハから奪う熱が小さくなり、S i Cエピタキシャルウェハの表面の温度は、水素流量及び流速が大きい時よりも上昇し、下限値は低下する。

[0076] 成長温度が低いと、S i Cエピタキシャル成長中に積層欠陥が発生し易くなり、S i Cエピタキシャルウェハ面内の積層欠陥密度が上がる。積層欠陥密度は、例えば、フォトルミネッセンス (P L : Photoluminescence) イメージングで評価可能である。

[0077] 成長温度範囲の上限値は、物性的には、融点近くまでは可能である。装置側の問題として、温度の上限値を上げると、装置のコストや構造が異なってくる。また温度を上げる時間も増加するので、製造コスト的にも温度が高すぎるのは好ましくない。したがって、製造コストの兼ね合いから、低い温度で成長できることが望ましい。しかしながら、低温では積層欠陥密度が高く

なるS i C特有の問題があり、積層欠陥密度を下げるために温度を上げて成長している。そこで最適な温度範囲は、約1600℃～約1750℃になる。

[0078] 好ましくは、積層欠陥密度が十分に低い、約1750℃である。しかし、これも上述の理由で、反応炉内の水素流量と水素の流速に依存する。

[0079] 実施の形態に係るS i Cエピタキシャルウェハのエピ品質イメージ例は、図9に示すように表わされる。実施の形態に係るS i Cエピタキシャルウェハにおいては、ウェハ上のパーティクルを含めた表面凹凸欠陥密度が約0.07cm⁻²が得られた。この数値は、150mmφウェハの場合において、欠陥数12個の例に相当する。

[0080] 比較例に係るS i Cエピタキシャルウェハのエピ品質イメージ例は、図10に示すように表わされる。比較例に係るS i Cエピタキシャルウェハにおいては、ウェハ上のパーティクルを含めた表面凹凸欠陥密度が約1cm⁻²であった。この数値は、150mmφウェハの場合において、欠陥数173個の例に相当する。

[0081] (CVD温度プロファイル)

ープロファイル例1ー

実施の形態に係るS i Cエピタキシャル成長において、成長温度T_g(℃)と時間tとの関係を示すCVD温度プロファイル例1は、図11に示すように表わされる。

[0082] CVD温度プロファイル例1は、S i Cエピタキシャル成長層を堆積する直前の水素エッチング(in-situ Etching)の設定温度が、S i Cエピタキシャル成長層を堆積する設定温度よりも低い場合に相当している。図11において、直線Hは温度上昇期間、直線Eは水素エッチング期間、直線DはS i Cエピタキシャル成長期間、直線Cは温度下降期間を表す。

[0083] キャリアガスとして水素ガスを用いた場合、水素ガスは、他のガスに比べて比熱と熱伝導率が高い。従って、水素ガスは、熱の容量が大きくかつ熱が容易に伝わるという性質がある。水素の流量が異なると、サセプタの設定

温度が同じでもウェハ表面の温度は異なる。水素流量とウェハ表面の温度は互いに相関するため、水素流量に応じて、最適な水素エッチング温度は異なる。

[0084] CVD温度プロファイル例1においては、図11に示すように、SiCエピタキシャル成長層を堆積する直前の水素エッチングの設定温度 T_2 が、SiCエピタキシャル成長層を堆積する設定温度 T_3 よりも低く設定した例が示されている。

[0085] ープロファイル例2ー

実施の形態に係るSiCエピタキシャル成長において、成長温度 T_0 (°C)と時間 t との関係を示すCVD温度プロファイル例2は、図12に示すように表わされる。

[0086] CVD温度プロファイル例2は、SiCエピタキシャル成長層を堆積する直前の水素エッチングの設定温度が、SiCエピタキシャル成長層を堆積する設定温度に等しい場合に相当している。図11において、直線Hは温度上昇期間、直線E+Dは水素エッチング期間およびSiCエピタキシャル成長期間、直線Cは温度下降期間を表す。

[0087] 上述したように、水素の流量が異なると、サセプタの設定温度が同じでもウェハ表面の温度は異なる。水素流量とウェハ表面の温度は互いに相関するため、水素流量に応じて、最適な水素エッチング温度は異なる。

[0088] CVD温度プロファイル例2においては、図12に示すように、SiCエピタキシャル成長層を堆積する直前の水素エッチングの設定温度を、SiCエピタキシャル成長層を堆積する設定温度 T_3 に等しく設定した例が示されている。

[0089] ープロファイル例3ー

実施の形態に係るSiCエピタキシャル成長において、成長温度 T_0 (°C)と時間 t との関係を示すCVD温度プロファイル例3は、図13に示すように表わされる。

[0090] CVD温度プロファイル例3は、SiCエピタキシャル成長層を堆積する

直前の水素エッチングの設定温度が、S i Cエピタキシャル成長層を堆積する設定温度よりも高い場合に相当している。図13において、直線Hは温度上昇期間、直線Eは水素エッチング期間、直線DはS i Cエピタキシャル成長期間、直線Cは温度下降期間を表す。

[0091] 上述したように、水素の流量が異なると、サセプタの設定温度が同じでもウェハ表面の温度は異なる。水素流量とウェハ表面の温度は互いに相関するため、水素流量に応じて、最適な水素エッチング温度は異なる。

[0092] CVD温度プロファイル例3においては、図13に示すように、S i Cエピタキシャル成長層を堆積する直前の水素エッチングの設定温度 T_2 が、S i Cエピタキシャル成長層を堆積する設定温度 T_3 よりも高く設定した例が示されている。

[0093] (製造装置)

実施の形態に係るS i Cエピタキシャルウェハの製造装置は、ガス注入口と、ガス排気口と、加熱部と、反応炉とを備える。ここで、供給される原料ガスは、S iの供給源となるS i化合物およびCの供給源となるC化合物を備える。また、S i化合物とC化合物の両方、またはいずれか一方は、Fを含む化合物を備える。

[0094] (第1のCVD装置)

実施の形態に係るS i Cエピタキシャルウェハの製造装置であって、S i Cエピタキシャル成長に適用可能な第1のCVD装置の模式的構成例は、図14に示すように、

ガス注入口140と、ガス排気口160と、加熱部100と、縦型反応炉120とを備える。

[0095] 加熱部100の加熱方式としては、抵抗加熱、コイルを用いた誘導加熱、ランプ加熱などを採用することができる。誘導加熱方式の場合、図に示していないが、カーボン製の部材がウェハ付近に配置され、カーボン製部材が発熱し、それに接触しているウェハまたは、発熱したカーボン製部材からの輻射でウェハが加熱される。

[0096] 縦型反応炉120内には、複数枚のSiCエピタキシャルウェハ1がフェースアップまたはフェースダウンに配置可能である。

[0097] 縦型反応炉120の下部のガス注入口140から原料ガスが供給され、縦型反応炉120の上部のガス排気口160から排気される間に、複数枚のSiCエピタキシャルウェハ1表面を流れた原料が反応し、SiCエピタキシャル成長層を形成する。

[0098] 供給される原料ガスは、一般的には、以下で表記可能である。すなわち、 $\text{Si}_n\text{H}_x\text{Cl}_y\text{F}_z$ ($n \geq 1$ 、 $x \geq 0$ 、 $y \geq 0$ 、 $z \geq 1$ 、 $x + y + z = 2n + 2$) および／若しくは $\text{C}_m\text{H}_q\text{Cl}_r\text{F}_s$ ($m \geq 1$ 、 $q \geq 0$ 、 $r \geq 0$ 、 $s \geq 1$ 、 $q + r + s = 2m + 2$) である。

[0099] キャリアガスとしては、 H_2 、Ar、HCl、 F_2 のいずれか1つ以上を適用可能である。

[0100] ドーパントの原料としては、 N_2 またはトリメチルアルミニウム (TMA: Trimethylaluminium: $(\text{CH}_3)_3\text{Al}$) を適用可能である。

[0101] (第2のCVD装置)

実施の形態に係るSiCエピタキシャルウェハの製造装置であって、SiCエピタキシャル成長に適用可能な第2のCVD装置の模式的構成例は、図15に示すように、

ガス注入口140と、ガス排気口160と、加熱部100と、縦型反応炉120とを備える。

[0102] 加熱部100の加熱方式としては、抵抗加熱、コイルを用いた誘導加熱、ランプ加熱などを採用することができる。誘導加熱方式の場合、図に示していないが、カーボン製の部材がウェハ付近に配置され、カーボン製部材が発熱し、それに接触しているウェハまたは、発熱したカーボン製部材からの輻射でウェハが加熱される。

[0103] 縦型反応炉120内には、複数枚のSiCエピタキシャルウェハ1がガスの流れに対して平行になるように配置される。

[0104] 縦型反応炉120の下部のガス注入口140から原料ガスが供給され、縦

型反応炉 120 の上部のガス排気口 160 から排気される間に、複数枚の SiC エピタキシャルウェハ 1 表面を流れた原料が反応し、SiC エピタキシャル成長層を形成する。

[0105] 供給される原料ガスは、一般的には、以下で表記可能である。すなわち、 $\text{Si}_n\text{H}_x\text{Cl}_y\text{F}_z$ ($n \geq 1$ 、 $x \geq 0$ 、 $y \geq 0$ 、 $z \geq 1$ 、 $x + y + z = 2n + 2$) および／若しくは $\text{C}_m\text{H}_q\text{Cl}_r\text{F}_s$ ($m \geq 1$ 、 $q \geq 0$ 、 $r \geq 0$ 、 $s \geq 1$ 、 $q + r + s = 2m + 2$) である。

[0106] キャリアガスとしては、 H_2 、Ar、HCl、 F_2 のいずれか 1 つ以上を適用可能である。

[0107] ドーパントの原料としては、 N_2 または TMA を適用可能である。

[0108] (第 3 の CVD 装置)

実施の形態に係る SiC エピタキシャルウェハの製造装置 200 であって、SiC エピタキシャル成長に適用可能な第 3 の CVD 装置の模式的構成例は、図 16 に示すように、ガス注入口 140 と、ガス排気口 160 と、加熱部 100 と、横型反応炉 130 とを備える。

[0109] 加熱部 100 の加熱方式としては、抵抗加熱、コイルを用いた誘導加熱、ランプ加熱などを採用することができる。誘導加熱方式の場合、図に示していないが、カーボン製の部材がウェハ付近に配置され、カーボン製部材が発熱し、それに接触しているウェハまたは、発熱したカーボン製部材からの輻射でウェハが加熱される。

[0110] 横型反応炉 130 内には、複数枚の SiC エピタキシャルウェハ 1 がガスの流れに対して対向するように立てて配置可能である。

[0111] 横型反応炉 130 のガス注入口 140 から原料ガスが供給され、複数枚の SiC エピタキシャルウェハ 1 を通り過ぎて、ガス排気口 160 から排気される間に、複数枚の SiC エピタキシャルウェハ 1 表面を流れた原料が反応し、SiC エピタキシャル成長層を形成する。

[0112] 供給される原料ガスは、一般的には、以下で表記可能である。すなわち、 $\text{Si}_n\text{H}_x\text{Cl}_y\text{F}_z$ ($n \geq 1$ 、 $x \geq 0$ 、 $y \geq 0$ 、 $z \geq 1$ 、 $x + y + z = 2$

$n + 2$) および／若しくは $C_m H_q C l_r F_s$ ($m \geq 1$ 、 $q \geq 0$ 、 $r \geq 0$ 、 $s \geq 1$ 、 $q + r + s = 2m + 2$) である。

[0113] キャリアガスとしては、 H_2 、 Ar 、 HCl 、 F_2 のいずれか1つ以上を適用可能である。

[0114] ドーパントの原料としては、 N_2 またはTMAを適用可能である。

[0115] (第4のCVD装置)

実施の形態に係るSiCエピタキシャルウェハの製造装置200であって、SiCエピタキシャル成長に適用可能な第4のCVD装置の模式的構成例は、図17に示すように、ガス注入口140と、ガス排気口160と、加熱部100と、横型反応炉130とを備える。

[0116] 加熱部100の加熱方式としては、抵抗加熱、コイルを用いた誘導加熱、ランプ加熱などを採用することができる。誘導加熱方式の場合、図に示していないが、カーボン製の部材がウェハ付近に配置され、カーボン製部材が発熱し、それに接触しているウェハまたは、発熱したカーボン製部材からの輻射でウェハが加熱される。

[0117] 横型反応炉130内には、複数枚のSiCエピタキシャルウェハ1がフェースアップまたはフェースダウンに配置可能である。

[0118] 横型反応炉130のガス注入口140から原料ガスが供給され、複数枚のSiCエピタキシャルウェハ1を通り過ぎて、ガス排気口160から排気される間に、複数枚のSiCエピタキシャルウェハ1表面を流れた原料が反応し、SiCエピタキシャル成長層を形成する。

[0119] 供給される原料ガスは、一般的には、以下で表記可能である。すなわち、 $Si_n H_x C l_y F_z$ ($n \geq 1$ 、 $x \geq 0$ 、 $y \geq 0$ 、 $z \geq 1$ 、 $x + y + z = 2n + 2$) および／若しくは $C_m H_q C l_r F_s$ ($m \geq 1$ 、 $q \geq 0$ 、 $r \geq 0$ 、 $s \geq 1$ 、 $q + r + s = 2m + 2$) である。

[0120] キャリアガスとしては、 H_2 、 Ar 、 HCl 、 F_2 のいずれか1つ以上を適用可能である。

[0121] ドーパントの原料としては、 N_2 またはTMAを適用可能である。

[0122] 以上のS i Cエピタキシャルウェハは、例えば、各種S i C半導体素子の製造に利用することができる。以下では、それらの一例として、S i Cショットキーバリアダイオード（S B D : Schottky Barrier Diode）、S i Cトレンチゲート（T : Trench）型金属酸化物半導体電界効果トランジスタ（M O S F E T : Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor）、およびS i Cプレーナゲート型M O S F E Tの例を示す。

[0123] （S i C－S B D）

実施の形態に係るS i Cエピタキシャルウェハを用いて作製したS i C－S B D 2 1の模式的断面構造は、図1 8に示すように表わされる。

[0124] 実施の形態に係るS i Cエピタキシャルウェハを用いて作製したS i C－S B D 2 1は、図1 8に示すように、 n^+ 型（不純物濃度が、例えば、約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ～約 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ ）のS i C基板2と、 n^- 型（不純物濃度が、例えば、約 $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ ～約 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ）のS i Cエピタキシャル成長層3とからなるS i Cエピタキシャルウェハ1を備える。 n 型ドーピング不純物としては、たとえば、N（窒素）、P（リン）、As（ひ素）などを適用可能である。

[0125] S i C基板2の裏面（（0 0 0－1）C面）は、その全域を覆うようにカソード電極2 2を備え、カソード電極2 2はカソード端子Kに接続される。

[0126] また、S i Cエピタキシャル成長層3の表面1 0（（0 0 0 1）S i面）は、S i Cエピタキシャル成長層3の一部を活性領域2 3として露出させるコンタクトホール2 4を備え、活性領域2 3を取り囲むフィールド領域2 5には、フィールド絶縁膜2 6が形成されている。

[0127] フィールド絶縁膜2 6は、S i O₂（酸化シリコン）からなるが、窒化シリコン（S i N）など、他の絶縁物からなってもよい。このフィールド絶縁膜2 6上には、アノード電極2 7が形成され、アノード電極2 7はアノード端子Aに接続される。

[0128] S i Cエピタキシャル成長層3の表面1 0近傍（表層部）には、アノード電極2 7に接するようにp型のJ T E（Junction Termination Extension）

構造 28 が形成されている。JTE 構造 28 は、フィールド絶縁膜 26 のコンタクトホール 24 の内外に跨るように、コンタクトホール 24 の輪郭に沿って形成されている。

[0129] 実施の形態に係る SiC エピタキシャルウェハを用いて作製した SiC-SBD 21 によれば、リーク電流を低減可能である。

[0130] (SiC-TMOSFET)

実施の形態に係る SiC エピタキシャルウェハを用いて作製した SiC-TMOSFET 31 の模式的断面構造は、図 19 に示すように表わされる。

[0131] 実施の形態に係る SiC エピタキシャルウェハを用いて作製した SiC-TMOSFET 31 は、図 19 に示すように、 n^+ 型（不純物濃度が、例えば、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ ）の SiC 基板 2 と、 n^- 型（不純物濃度が、例えば、 $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ）の SiC エピタキシャル成長層 3 とからなる SiC エピタキシャルウェハ 1 を備える。 n 型ドーピング不純物としては、たとえば、N（窒素）、P（リン）、As（ひ素）などを適用可能である。

[0132] SiC 基板 2 の裏面（（000-1）C 面）は、その全域を覆うようにドレイン電極 32 を備え、ドレイン電極 32 はドレイン端子 D に接続される。

[0133] SiC エピタキシャル成長層 3 の表面 10（（0001）Si 面）近傍（表層部）には、 p 型（不純物濃度が、例えば、 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ）のボディ領域 33 が形成されている。SiC エピタキシャル成長層 3 において、ボディ領域 33 に対して SiC 基板 2 側の部分は、エピタキシャル成長後のままの状態が維持された、 n^- 型のドレイン領域 34 である。

[0134] SiC エピタキシャル成長層 3 には、ゲートトレンチ 35 が形成されている。ゲートトレンチ 35 は、SiC エピタキシャル成長層 3 の表面 10 からボディ領域 33 を貫通し、その最深部がドレイン領域 34 に達している。

[0135] ゲートトレンチ 35 の内面および SiC エピタキシャル成長層 3 の表面 10 には、ゲートトレンチ 35 の内面全域を覆うようにゲート絶縁膜 36 が形成されている。そして、ゲート絶縁膜 36 の内側を、たとえばポリシリコン

で充填することによって、ゲートトレンチ 35 内にゲート電極 37 が埋設されている。ゲート電極 37 には、ゲート端子 G が接続されている。

[0136] ボディ領域 33 の表層部には、ゲートトレンチ 35 の側面の一部を形成する n^+ 型のソース領域 38 が形成されている。

[0137] また、SiC エピタキシャル成長層 3 には、その表面 10 からソース領域 38 を貫通し、ボディ領域 33 に接続される p^+ 型（不純物濃度が、例えば、約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ~ 約 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ ）のボディコンタクト領域 39 が形成されている。

[0138] SiC エピタキシャル成長層 3 上には、 SiO_2 からなる層間絶縁膜 40 が形成されている。層間絶縁膜 40 に形成されたコンタクトホール 41 を介して、ソース電極 42 がソース領域 38 およびボディコンタクト領域 39 に接続されている。ソース電極 42 には、ソース端子 S が接続されている。

[0139] ソース電極 42 とドレイン電極 32 との間（ソースドレイン間）に所定の電位差を発生させた状態で、ゲート電極 37 に所定の電圧（ゲート閾値電圧以上の電圧）を印加することにより、ゲート電極 37 からの電界によりボディ領域 33 におけるゲート絶縁膜 36 との界面近傍にチャネルを形成することができる。これにより、ソース電極 42 とドレイン電極 32 との間に電流を流すことができ、SiC-TMOSFET 31 をオン状態にさせることができる。

[0140] 実施の形態に係る SiC エピタキシャルウェハを用いて作製した SiC-TMOSFET 31 は、キャリア移動度を向上させ高速化することができる。

[0141] （SiC プレーナゲート型 MOSFET）

実施の形態に係る SiC エピタキシャルウェハを用いて作製したプレーナゲート型の SiC-MOSFET の模式的断面構造は、図 20 に示すように表わされる。

[0142] 実施の形態に係る SiC エピタキシャルウェハを用いて作製したプレーナゲート型の SiC-MOSFET 51 は、図 20 に示すように、 n^+ 型（不純

物濃度が、例えば、約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ~ 約 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ の SiC 基板 2 と、n⁻型（不純物濃度が、例えば、約 $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ ~ 約 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ）の SiC エピタキシャル成長層 3 とからなる SiC エピタキシャルウェハ 1 を備える。

[0143] SiC 基板 2 の裏面（（000-1）C 面）には、全域を覆うようにドレイン電極 52 が形成され、ドレイン電極 52 には、ドレイン端子 D が接続されている。

[0144] SiC エピタキシャル成長層 3 の表面 10（（0001）Si 面）近傍（表層部）には、p 型（不純物濃度が、例えば、約 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ~ 約 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ）のボディ領域 53 がウェル状に形成されている。SiC エピタキシャル成長層 3 において、ボディ領域 53 に対して SiC 基板 2 側の部分は、エピタキシャル成長後のままの状態が維持された、n⁻型のドレイン領域 54 である。

[0145] ボディ領域 53 の表層部には、n⁺型のソース領域 55 がボディ領域 53 の周縁と間隔を空けて形成されている。

[0146] ソース領域 55 の内側には、p⁺型（不純物濃度が、例えば、約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ~ 約 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ ）のボディコンタクト領域 56 が形成されている。ボディコンタクト領域 56 は、ソース領域 55 を深さ方向に貫通し、ボディ領域 53 に接続されている。

[0147] SiC エピタキシャル成長層 3 の表面 10 には、ゲート絶縁膜 57 が形成されている。ゲート絶縁膜 57 は、ボディ領域 53 におけるソース領域 55 を取り囲む部分（ボディ領域 53 の周縁部）およびソース領域 55 の外周縁を覆っている。

[0148] ゲート絶縁膜 57 上には、たとえばポリシリコンからなるゲート電極 58 が形成されている。ゲート電極 58 は、ゲート絶縁膜 57 を挟んでボディ領域 53 の周縁部に対向している。ゲート電極 58 には、ゲート端子 G が接続される。

[0149] SiC エピタキシャル成長層 3 上には、SiO₂ からなる層間絶縁膜 59 が

形成されている。層間絶縁膜 59 に形成されたコンタクトホール 60 を介して、ソース電極 61 がソース領域 55 およびボディコンタクト領域 56 に接続されている。ソース電極 61 には、ソース端子 S が接続されている。

[0150] ソース電極 61 とドレイン電極 52 との間（ソースドレイン間）に所定の電位差を発生させた状態で、ゲート電極 58 に所定の電圧（ゲート閾値電圧以上の電圧）を印加することにより、ゲート電極 58 からの電界によりボディ領域 53 におけるゲート絶縁膜 57 との界面近傍にチャンネルを形成することができる。これにより、ソース電極 61 とドレイン電極 52 との間に電流を流すことができ、プレーナゲート型 MOSFET 51 をオン状態にさせることができる。

[0151] このプレーナゲート型 MOSFET 51 においても、図 19 の SiC-T MOSFET 31 と同様に、キャリア移動度を向上させ高速化することができる。

[0152] 以上、本実施形態を説明したが、他の形態で実施することもできる。

[0153] 例えば、SiC 基板 2 の主面 4（基板表面）は、(0001) 面に対して $[-1100]$ 軸のオフ方向に 4° 以下のオフ角 θ で傾斜していてもよい。また、図示は省略するが、実施形態に係る SiC エピタキシャルウェハを用いて MOS キャパシタを製造することもできる。MOS キャパシタでは、歩留まりおよび信頼性を向上させることができる。また、信頼性については初期不良を減少させることができる。

[0154] また、図示は省略するが、実施形態に係る SiC エピタキシャルウェハを用いてバイポーラトランジスタを製造することもできる。その他、実施形態に係る SiC エピタキシャルウェハは、SiC-pn ダイオード、SiC 絶縁ゲートバイポーラトランジスタ（IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor）、SiC 相補型 MOSFET などの製造に用いることもできる。

[0155] 実施の形態に係る SiC エピタキシャルウェハによれば、SiC エピタキシャル成長層の表面または界面の欠陥領域を減らすことができるため、リーク電流・酸化膜厚の不均一性・界面準位・表面再結合などが低減し、電界効

果移動度が向上する。このため、高品質かつ高信頼性のS i C半導体装置を提供することができる。

[0156] 実施の形態によれば、膜厚均一性およびキャリア濃度均一性に優れ、表面欠陥の少ない高品質なS i Cエピタキシャルウェハ、S i Cエピタキシャルウェハの製造装置、S i Cエピタキシャルウェハの製造方法、および半導体装置を提供することができる。

[0157] [その他の実施の形態]

上記のように、実施の形態に係るS i Cエピタキシャルウェハ、S i Cエピタキシャルウェハの製造装置、S i Cエピタキシャルウェハの製造方法、および半導体装置について記載したが、この開示の一部をなす論述および図面は例示的なものであり、この実施の形態を限定するものであると理解すべきではない。この開示から当業者には様々な代替実施の形態、実施例および運用技術が明らかとなろう。

[0158] このように、ここでは記載していない様々な実施の形態などを含む。

産業上の利用可能性

[0159] 本実施形態のS i Cエピタキシャルウェハを適用した半導体装置は、電気自動車（ハイブリッド車を含む）・電車・産業用ロボットなどの動力源として利用される電動モータを駆動するインバータ回路用パワーモジュール、また、太陽電池・風力発電機その他の発電装置（とくに自家発電装置）が発生する電力を商用電源の電力に変換するインバータ回路用パワーモジュールなど幅広い応用分野に適用可能である。

符号の説明

- [0160] 1…S i Cエピタキシャルウェハ
2…基板
3…S i Cエピタキシャル成長層
4…主面
10…S i Cエピタキシャル成長層の表面
13…六方晶S i Cインゴット

- 14…SiCベアウェハ
- 15…切り出し面
- 16…酸化膜
- 21…SiC-SBD
- 22…カソード電極
- 23…活性領域
- 24…コンタクトホール
- 25…フィールド領域
- 26…フィールド絶縁膜
- 27…アノード電極
- 28…JTE構造
- 31…SiC-TMOSFET
- 32、52…ドレイン電極
- 33、53…ボディ領域
- 34…ドレイン領域
- 35…ゲートトレンチ
- 36、57…ゲート絶縁膜
- 37、58…ゲート電極
- 38、55…ソース領域
- 39、56…ボディコンタクト領域
- 40、59…層間絶縁膜
- 41、60…コンタクトホール
- 42、61…ソース電極
- 51…SiC-MOSFET
- 100…加熱部
- 120…縦型反応炉
- 130…横型反応炉
- 140…ガス注入口

160…ガス排気口

200…SiCエピタキシャルウェハの製造装置

t1…SiC基板の厚さ

t2…SiCエピタキシャル成長層3の厚さ

θ …オフ角

S…ソース端子

D…ドレイン端子

G…ゲート端子

A…アノード端子

K…カソード端子

請求の範囲

- [請求項1] 基板と、
 前記基板上に配置されたS i Cエピタキシャル成長層と
 を備え、前記S i Cエピタキシャル成長層は、S i化合物をS iの
 供給源とし、C化合物をCの供給源とし、
 前記S i化合物と前記C化合物の両方、またはいずれか一方は、フ
 ッ素を含む化合物を備えることを特徴とするS i Cエピタキシャルウ
 ェハ。
- [請求項2] 前記S i化合物は、S i F₄、S i H₃F、S i H₂F₂、若しくはS
 i H F₃のいずれかを備えることを特徴とする請求項1に記載のS i
 Cエピタキシャルウェハ。
- [請求項3] 前記S i化合物は、S i_nH_xC l_yF_z (n>=1, x>=0, y>
 =0, z>=1, x+y+z=2n+2) で表わされることを特徴と
 する請求項1に記載のS i Cエピタキシャルウェハ。
- [請求項4] 前記C化合物は、C F₄、C₂F₆、C₃F₈、C₄F₆、C₄F₈、C₅F₈、
 C H F₃、C H₂F₂、C H₃F、若しくはC₂H F₅のいずれかを備えるこ
 とを特徴とする請求項1に記載のS i Cエピタキシャルウェハ。
- [請求項5] 前記C化合物は、C_mH_qC l_rF_s (m>=1, q>=0, r>=0
 、s>=1, q+r+s=2m+2) で表わされることを特徴とする
 請求項1に記載のS i Cエピタキシャルウェハ。
- [請求項6] 前記S i Cエピタキシャル成長層は、4 H-S i C、6 H-S i C
 、2 H-S i C、若しくは3 C-S i Cのいずれかを備えることを特
 徴とする請求項1～5のいずれか1項に記載のS i Cエピタキシャル
 ウェハ。
- [請求項7] 前記基板は、4 H-S i C、6 H-S i C、B N、A l N、A l
 ₂O₃、G a₂O₃、ダイヤモンド、カーボン、若しくはグラファイトの
 いずれかを備えることを特徴とする請求項1～6のいずれか1項に記
 載のS i Cエピタキシャルウェハ。

- [請求項8] SiCインゴットを準備し、オフ角を付けて切り出し、研磨してSiCベアウェハを形成する工程と、
前記SiCベアウェハの切り出し面を除去し、SiC基板を形成する工程と、
前記SiC基板の主面上に酸化膜を形成する工程と、
前記酸化膜を除去する工程と、
前記SiC基板上に、SiCエピタキシャル成長層を結晶成長させる工程と
を有し、供給される原料ガスは、Siの供給源となるSi化合物およびCの供給源となるC化合物を備え、
前記Si化合物と前記C化合物の両方、またはいずれか一方は、フッ素を含む化合物を備えることを特徴とするSiCエピタキシャルウェハの製造方法。
- [請求項9] 前記Si化合物は、 SiF_4 、 SiH_3F 、 SiH_2F_2 、若しくは SiHF_3 のいずれかを備えることを特徴とする請求項8に記載のSiCエピタキシャルウェハの製造方法。
- [請求項10] 前記Si化合物は、 $\text{Si}_n\text{H}_x\text{Cl}_y\text{F}_z$ ($n \geq 1$, $x \geq 0$, $y \geq 0$, $z \geq 1$, $x + y + z = 2n + 2$) で表わされることを特徴とする請求項8に記載のSiCエピタキシャルウェハの製造方法。
- [請求項11] 前記C化合物は、 CF_4 、 C_2F_6 、 C_3F_8 、 C_4F_6 、 C_4F_8 、 C_5F_8 、 CHF_3 、 CH_2F_2 、 CH_3F 、若しくは C_2HF_5 のいずれかを備えることを特徴とする請求項8に記載のSiCエピタキシャルウェハの製造方法。
- [請求項12] 前記C化合物は、 $\text{C}_m\text{H}_q\text{Cl}_r\text{F}_s$ ($m \geq 1$, $q \geq 0$, $r \geq 0$, $s \geq 1$, $q + r + s = 2m + 2$) で表わされることを特徴とする請求項8に記載のSiCエピタキシャルウェハの製造方法。
- [請求項13] 前記SiCエピタキシャル成長層は、 $4\text{H}-\text{SiC}$ 、 $6\text{H}-\text{SiC}$ 、 $2\text{H}-\text{SiC}$ 、若しくは $3\text{C}-\text{SiC}$ のいずれかを備えることを特

徴とする請求項 8～12 のいずれか 1 項に記載の SiC エピタキシャルウェハの製造方法。

[請求項 14] 前記 SiC エピタキシャル成長層を結晶成長させる温度プロファイルは、前記 SiC エピタキシャル成長層を堆積する直前の水素エッチングの設定温度が、前記 SiC エピタキシャル成長層を堆積する設定温度よりも低いことを特徴とする請求項 8～13 のいずれか 1 項に記載の SiC エピタキシャルウェハの製造方法。

[請求項 15] 前記 SiC エピタキシャル成長層を結晶成長させる温度プロファイルは、前記 SiC エピタキシャル成長層を堆積する直前の水素エッチングの設定温度が、前記 SiC エピタキシャル成長層を堆積する設定温度に等しいことを特徴とする請求項 8～13 のいずれか 1 項に記載の SiC エピタキシャルウェハの製造方法。

[請求項 16] 前記 SiC エピタキシャル成長層を結晶成長させる温度プロファイルは、前記 SiC エピタキシャル成長層を堆積する直前の水素エッチングの設定温度が、前記 SiC エピタキシャル成長層を堆積する設定温度よりも高いことを特徴とする請求項 8～13 のいずれか 1 項に記載の SiC エピタキシャルウェハの製造方法。

[請求項 17] ガス注入口と、
ガス排気口と、
加熱部と、
反応炉と
を備え、供給される原料ガスは、Si の供給源となる Si 化合物および C の供給源となる C 化合物を備え、
前記 Si 化合物と前記 C 化合物の両方、またはいずれか一方は、フッ素を含む化合物を備えることを特徴とする SiC エピタキシャルウェハの製造装置。

[請求項 18] 前記 Si 化合物は、 $\text{Si}_n\text{H}_x\text{Cl}_y\text{F}_z$ ($n \geq 1$ 、 $x \geq 0$ 、 $y \geq 0$ 、 $z \geq 1$ 、 $x + y + z = 2n + 2$) で表され、

前記C化合物は、 $C_mH_qCl_rF_s$ ($m \geq 1$ 、 $q \geq 0$ 、 $r \geq 0$ 、 $s \geq 1$ 、 $q + r + s = 2m + 2$) で表されることを特徴とする請求項17に記載のSiCエピタキシャルウェハの製造装置。

[請求項19] 前記反応炉は、縦型反応炉を備え、前記縦型反応炉内には、複数枚のSiCエピタキシャルウェハがフェースアップまたはフェースダウンに配置可能であることを特徴とする請求項17または18に記載のSiCエピタキシャルウェハの製造装置。

[請求項20] 前記反応炉は、縦型反応炉を備え、前記縦型反応炉内には、複数枚のSiCエピタキシャルウェハがガスの流れに対して平行になるように配置可能であることを特徴とする請求項17または18に記載のSiCエピタキシャルウェハの製造装置。

[請求項21] 前記反応炉は、横型反応炉を備え、前記横型反応炉内には、複数枚のSiCエピタキシャルウェハが横型反応炉内には、複数枚のSiCエピタキシャルウェハがガスの流れに対して対向するように立てて配置可能であることを特徴とする請求項17または18に記載のSiCエピタキシャルウェハの製造装置。

[請求項22] 前記反応炉は、横型反応炉を備え、前記横型反応炉内には、複数枚のSiCエピタキシャルウェハがフェースアップまたはフェースダウンに配置可能であることを特徴とする請求項17または18に記載のSiCエピタキシャルウェハの製造装置。

[請求項23] 前記加熱部の加熱方式としては、抵抗加熱、コイルを用いた誘導加熱、若しくはランプ加熱を用いることを特徴とする請求項17～22のいずれか1項に記載のSiCエピタキシャルウェハの製造装置。

[請求項24] キャリアガスは、 H_2 、Ar、HCl、 F_2 のいずれか1つ以上を適用可能であることを特徴とする請求項17～23のいずれか1項に記載のSiCエピタキシャルウェハの製造装置。

[請求項25] ドーパントの原料としては、 N_2 またはトリメチルアルミニウムを適用可能であることを特徴とする請求項17～24のいずれか1項に

記載のSiCエピタキシャルウェハの製造装置。

[請求項26] 請求項1～7のいずれか1項に記載のSiCエピタキシャルウェハを備える半導体装置。

[請求項27] 前記半導体装置は、SiCショットキーバリアダイオード、SiC-MOSFET、SiCバイポーラトランジスタ、SiCダイオード、SiCサイリスタ、若しくはSiC絶縁ゲートバイポーラトランジスタのいずれかであることを特徴とする請求項26に記載の半導体装置。

補正された請求の範囲
[2015年10月16日 (16.10.2015) 国際事務局受理]

[請求項1] (補正後)

基板と、

前記基板上に配置されたSiCエピタキシャル成長層と

を備えたSiCエピタキシャルウェハであつて、

前記SiCエピタキシャル成長層表面のパーティクルを含めた表面凹凸欠陥密度が 1.0 cm^{-2} よりも少ないことを特徴とするSiCエピタキシャルウェハ。

[請求項2] (補正後)

前記表面凹凸欠陥密度が約 0.07 cm^{-2} よりも少ないことを特徴とする請求項1に記載のSiCエピタキシャルウェハ。

[請求項3] (補正後)

前記SiCエピタキシャルウェハのオフ角は、4度以下であることを特徴とする請求項1に記載のSiCエピタキシャルウェハ。

[請求項4] (削除)

[請求項5] (削除)

[請求項6] (補正後)

前記SiCエピタキシャル成長層は、4H-SiC、6H-SiC、2H-SiC、若しくは3C-SiCのいずれかを備えることを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載のSiCエピタキシャルウェハ。

[請求項7] (補正後)

前記基板は、4H-SiC、6H-SiC、BN、AlN、Al₂O₃、Ga₂O₃、ダイヤモンド、カーボン、若しくはグラファイトのいずれかを備えることを特徴とする請求項1～3、6のいずれか1項に記載のSiCエピタキシャルウェハ。

[請求項8] (補正後)

SiCインゴットを準備し、オフ角を付けて切り出し、研磨してSiCベアウェハを形成する工程と、

前記SiCベアウェハの切り出し面を除去し、SiC基板を形成する工程と、

前記SiC基板上に、SiCエピタキシャル成長層を結晶成長させる工程と

を有し、エピタキシャル成長時に供給される原料ガスは、Siの供給源となるSi化合物およびCの供給源となるC化合物を備え、

前記Si化合物と前記C化合物の両方、またはいずれか一方は、フッ素を含む化合物を備え、

前記SiCエピタキシャル成長層表面のパーティクルを含めた表面凹凸欠陥密度が 1.0 cm^{-2} よりも少なくなるように制御することを特徴とするSiCエピタキシャルウェハの製造方法。

[請求項9]

前記Si化合物は、 SiF_4 、 SiH_3F 、 SiH_2F_2 、若しくは SiHF_3 のいずれかを備えることを特徴とする請求項8に記載のSiCエピタキシャルウェハの製造方法。

[請求項10]

前記Si化合物は、 $\text{Si}_n\text{H}_x\text{Cl}_y\text{F}_z$ ($n \geq 1$, $x \geq 0$, $y \geq 0$, $z \geq 1$, $x + y + z = 2n + 2$) で表わされることを特徴とする請求項8に記載のSiCエピタキシャルウェハの製造方法。

[請求項11]

前記C化合物は、 CF_4 、 C_2F_6 、 C_3F_8 、 C_4F_6 、 C_4F_8 、 C_5F_8 、 CHF_3 、 CH_2F_2 、 CH_3F 、若しくは C_2HF_5 のいずれかを備えることを特徴とする請求項8に記載のSiCエピタキシャルウェハの製造方法。

[請求項12]

前記C化合物は、 $\text{C}_m\text{H}_q\text{Cl}_r\text{F}_s$ ($m \geq 1$, $q \geq 0$, $r \geq 0$, $s \geq 1$, $q + r + s = 2m + 2$) で表わされることを特徴とする請求項8に記載のSiCエピタキシャルウェハの製造方法。

[請求項13]

前記SiCエピタキシャル成長層は、 $4\text{H}-\text{SiC}$ 、 $6\text{H}-\text{SiC}$ 、 $2\text{H}-\text{SiC}$ 、若しくは $3\text{C}-\text{SiC}$ のいずれかを備えることを特徴とする請求項8～12のいずれか1項に記載のSiCエピタキシャルウェハの製造方法。

[請求項14] (補正後)

前記SiCエピタキシャル成長層を結晶成長させる温度プロファイルは、前記SiC

エピタキシャル成長層を堆積する直前の水素エッチングの設定温度が、前記S i Cエピタキシャル成長層を堆積する設定温度と同じでないことを特徴とする請求項8～13のいずれか1項に記載のS i Cエピタキシャルウェハの製造方法。

〔請求項15〕（補正後）

前記S i Cエピタキシャル成長層を結晶成長させる温度プロファイルは、水素流量に応じた水素エッチング温度になるように制御することを特徴とする請求項8～13のいずれか1項に記載のS i Cエピタキシャルウェハの製造方法。

〔請求項16〕（削除）

〔請求項17〕（補正後）

ガス注入口と、

ガス排気口と、

加熱部と、

反応炉と

を備え、エピタキシャル成長時に供給される原料ガスは、S iの供給源となるS i化合物およびCの供給源となるC化合物を備え、

前記S i化合物と前記C化合物の両方、またはいずれか一方は、フッ素を含む化合物を備え、

前記S i Cエピタキシャル成長層表面のパーティクルを含めた表面凹凸欠陥密度が 1.0 cm^{-2} よりも少なくなるように形成することを特徴とするS i Cエピタキシャルウェハの製造装置。

〔請求項18〕

前記S i化合物は、 $\text{Si}_n\text{H}_x\text{Cl}_y\text{F}_z$ ($n \geq 1$ 、 $x \geq 0$ 、 $y \geq 0$ 、 $z \geq 1$ 、 $x + y + z = 2n + 2$) で表され、

前記C化合物は、 $\text{C}_m\text{H}_q\text{Cl}_r\text{F}_s$ ($m \geq 1$ 、 $q \geq 0$ 、 $r \geq 0$ 、 $s \geq 1$ 、 $q + r + s = 2m + 2$) で表されることを特徴とする請求項17に記載のS i Cエピタキシャルウェハの製造装置。

〔請求項19〕（削除）

〔請求項20〕

前記反応炉は、縦型反応炉を備え、前記縦型反応炉内には、複数枚のSiCエピタキシャルウェハがガスの流れに対して平行になるように配置可能であることを特徴とする請求項17または18に記載のSiCエピタキシャルウェハの製造装置。

〔請求項21〕

前記反応炉は、横型反応炉を備え、前記横型反応炉内には、複数枚のSiCエピタキシャルウェハが横型反応炉内には、複数枚のSiCエピタキシャルウェハがガスの流れに対して対向するように立てて配置可能であることを特徴とする請求項17または18に記載のSiCエピタキシャルウェハの製造装置。

〔請求項22〕 (削除)

〔請求項23〕 (削除)

〔請求項24〕 (補正後)

キャリアガスは、 H_2 、Ar、HCl、 F_2 のいずれか1つ以上を適用可能であることを特徴とする請求項17、18、20、21のいずれか1項に記載のSiCエピタキシャルウェハの製造装置。

〔請求項25〕 (補正後)

ドーパントの原料としては、 N_2 またはトリメチルアルミニウムを適用可能であることを特徴とする請求項17、18、20、21、24のいずれか1項に記載のSiCエピタキシャルウェハの製造装置。

〔請求項26〕 (補正後)

1～3、6、7のいずれか1項に記載のSiCエピタキシャルウェハを備える半導体装置。

〔請求項27〕

前記半導体装置は、SiCショットキーバリアダイオード、SiC-MOSFET、SiCバイポーラトランジスタ、SiCダイオード、SiCサイリスタ、若しくはSiC絶縁ゲートバイポーラトランジスタのいずれかであることを特徴とする請求項26に記載の半導体装置。

【請求項28】 (追加)

前記反応炉は、水素流量に応じた水素エッチング温度になるように制御可能なことを特徴

とする請求項 17 または 18 に記載の SiC エピタキシャルウェハの製造装置。

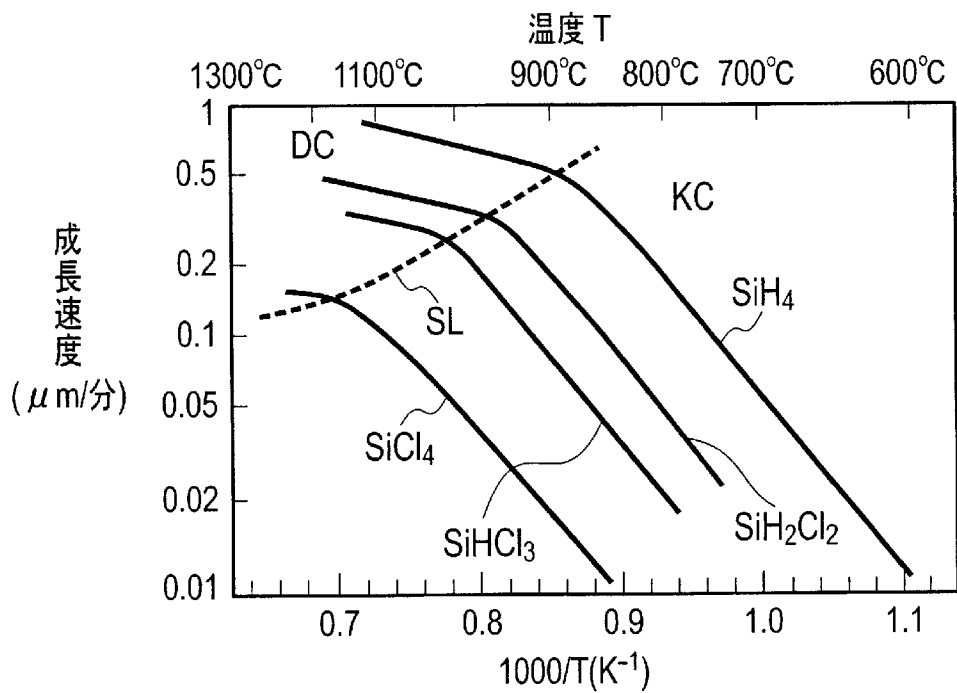
【請求項 29】（追加）

前記基板の表面に電極を有し、SiC エピタキシャル成長層の表面側に回路素子が形成されていることを特徴とする請求項 26 または 27 に記載の半導体装置。

[図1]

Si Bond D (kJ/mol)	C Bond D (kJ/mol)	N Bond D (kJ/mol)	F Bond D (kJ/mol)
Si-Si 222	C-N 305	N-N 167 N-F 283 N-C 305 N-Cl 313	F-F 155 Cl-Cl 240 F-N 283 Cl-N 313
Si-H 318 Si-C 318	C-Si 318 C-Si 327 C-Si 346		Cl-C 327
Si-N 355 Si-Cl 381		N-Si 355 N-H 386	Cl-Si 381
	C-H 411	N=N 418	
Si-F 565	C-F 485		F-C 485 F-H 565 F-Si 565
	C=C 602 C≡C 835	N≡N 942	

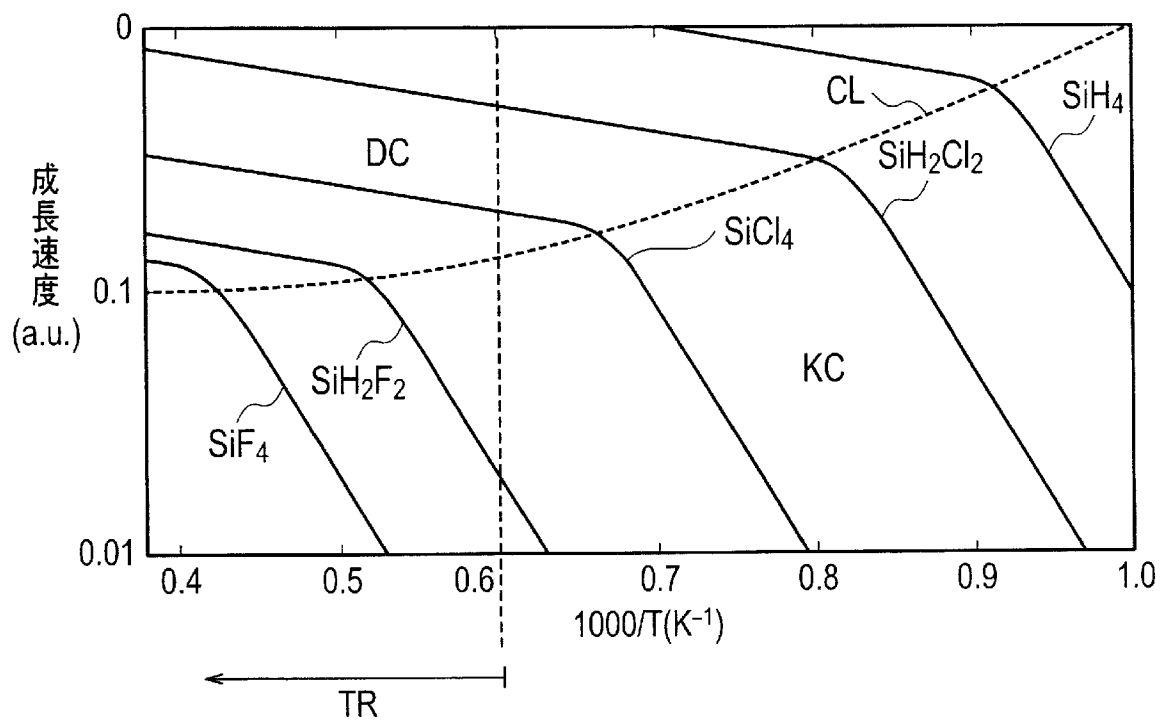
[図2]



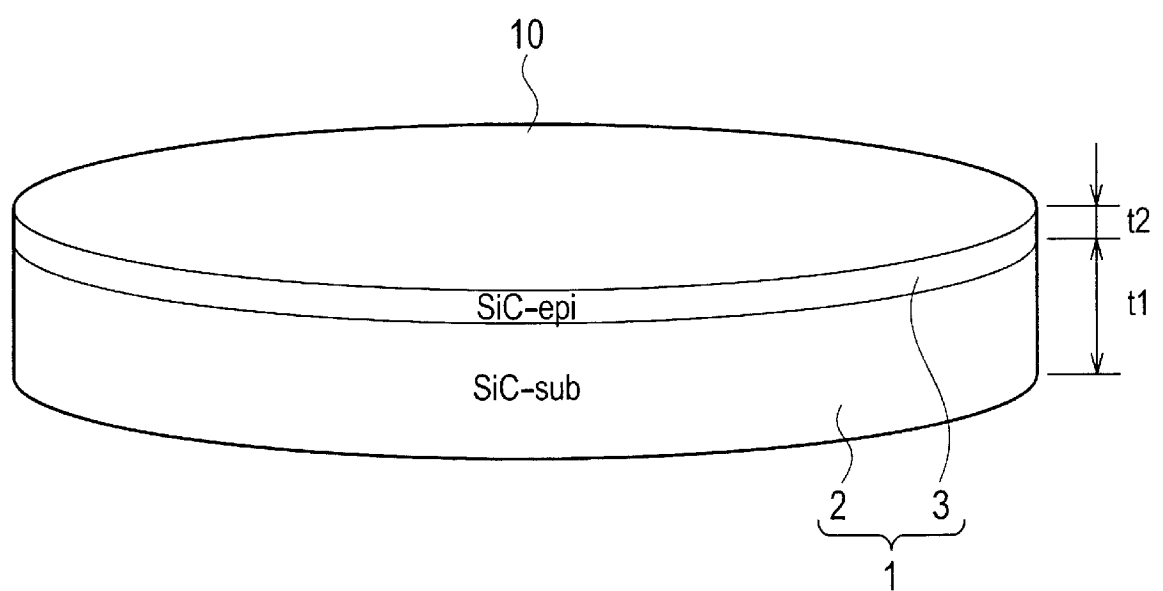
[図3]

Chemistry	Growth Rate (microns/minute)	Temperature Range (°C)	Allowed Oxidizer (ppm)
SiCl ₄	0.4-1.5	1150-1250	5-10
SiHCl ₃	0.4-3.0	1100-1200	5-10
SiH ₂ Cl ₂	0.3-2.0	1050-1150	<5
SiH ₄	0.1-0.3	950-1050	<2

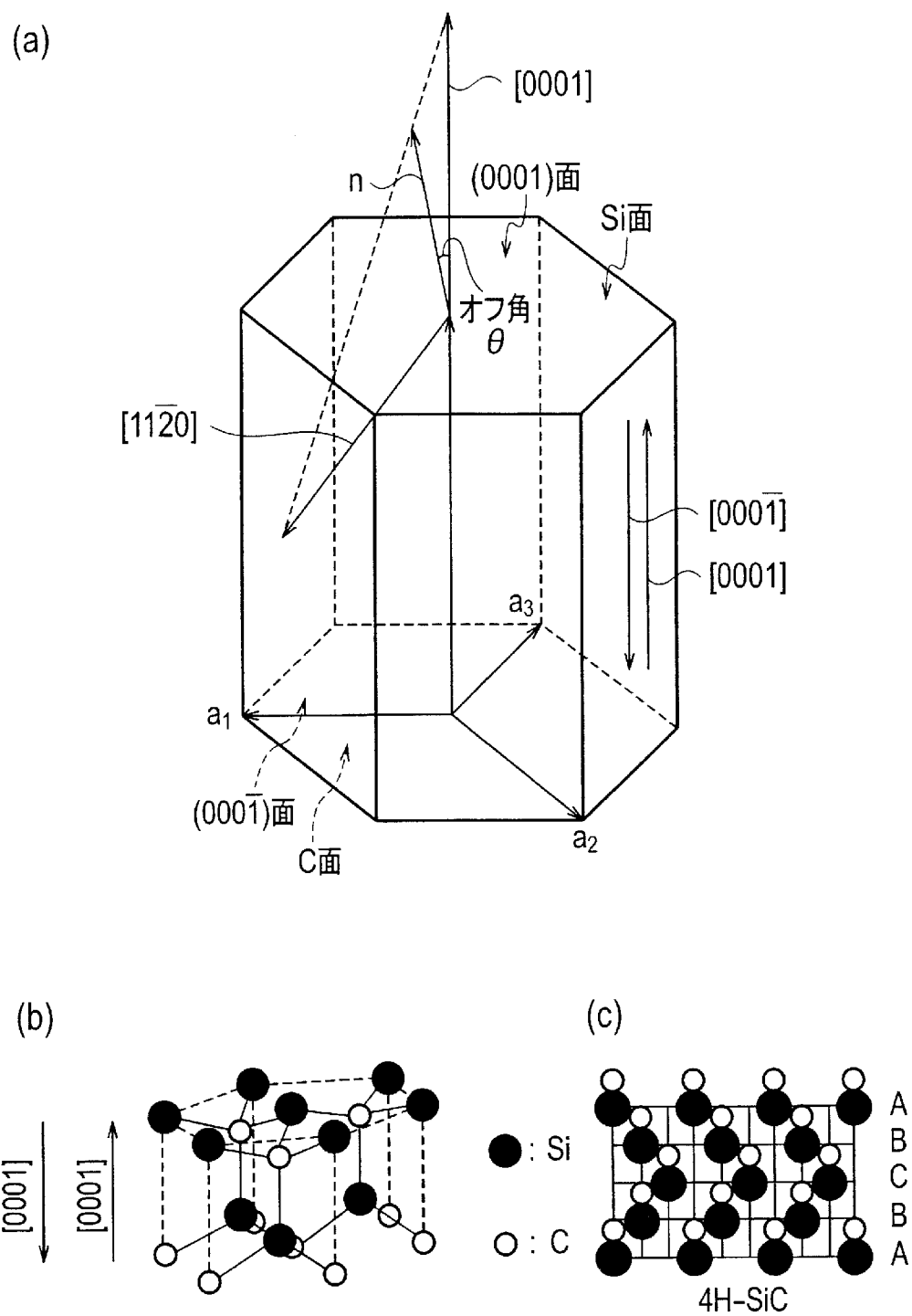
[図4]



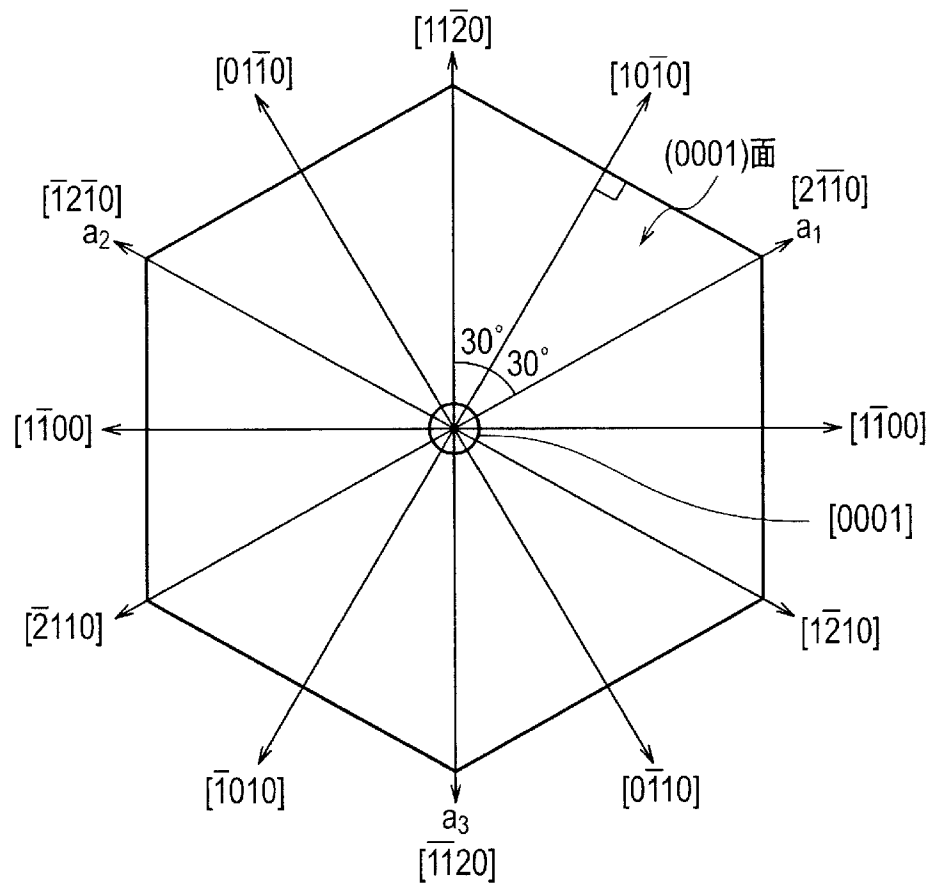
[図5]



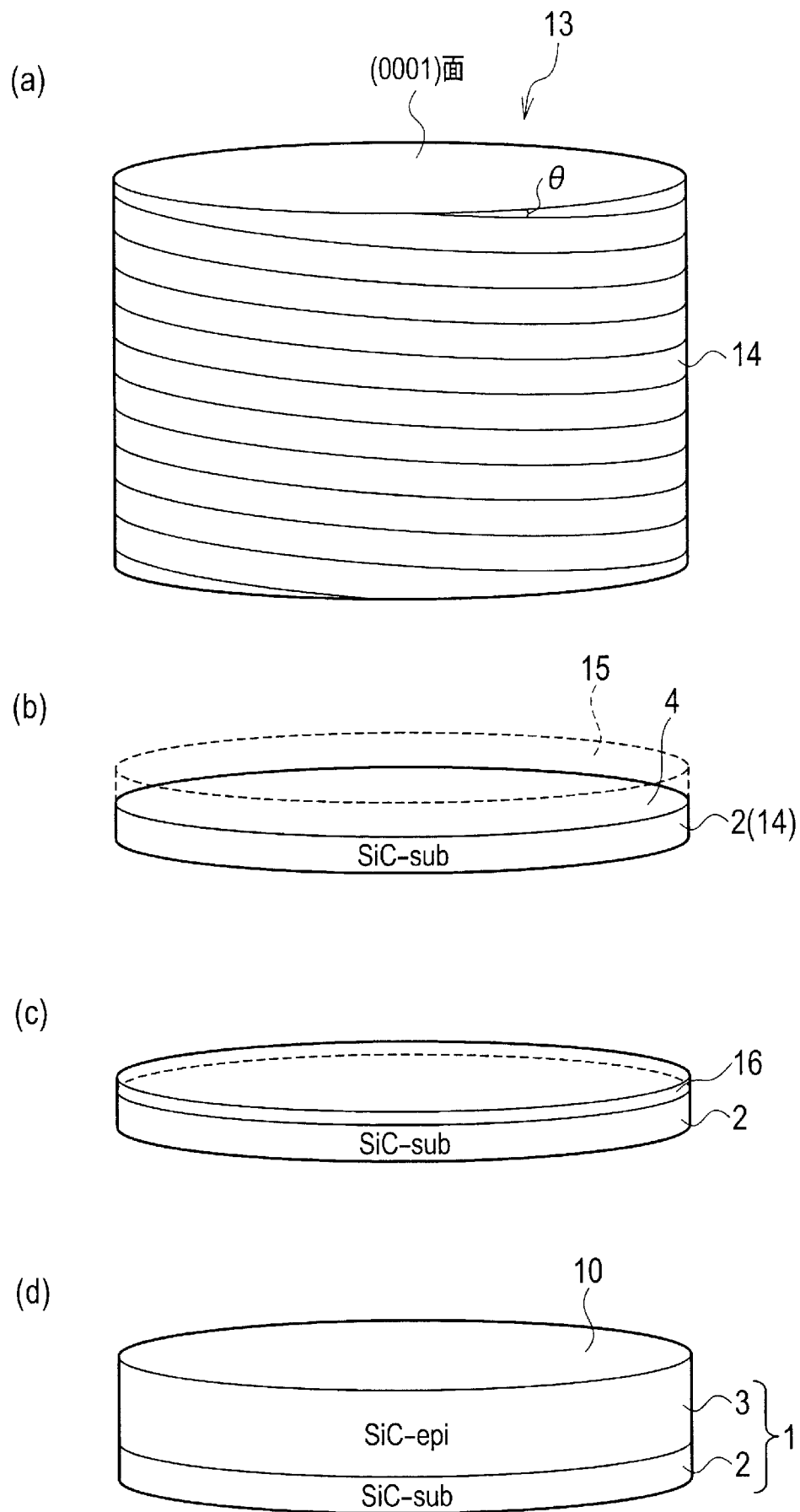
[図6]



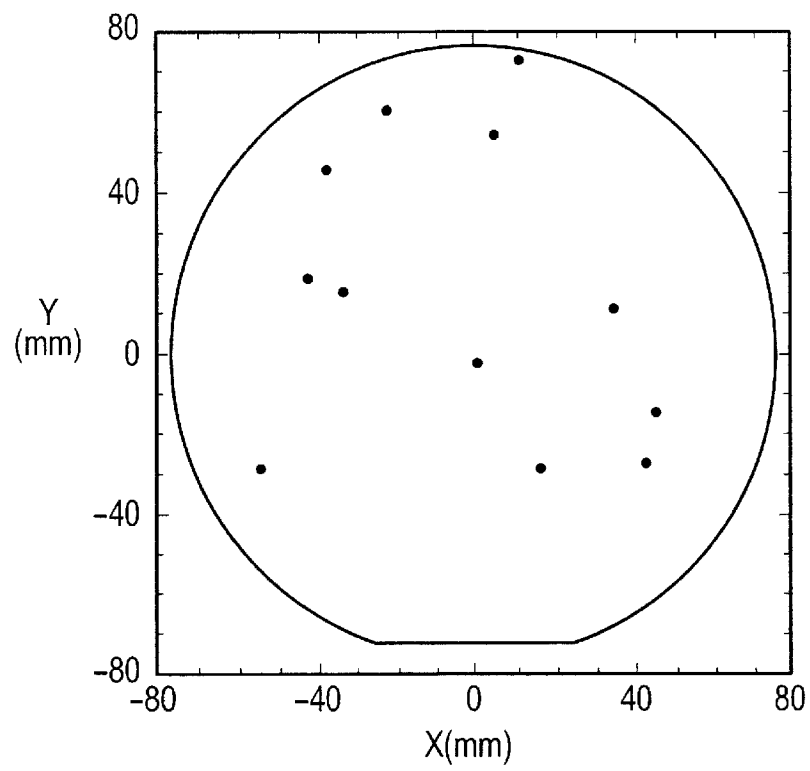
[図7]



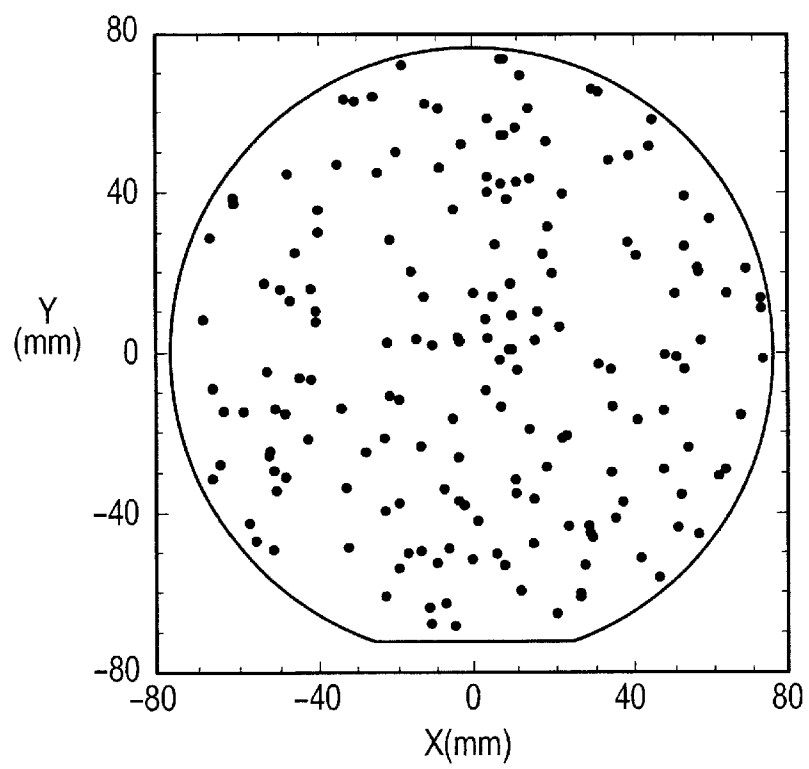
[図8]



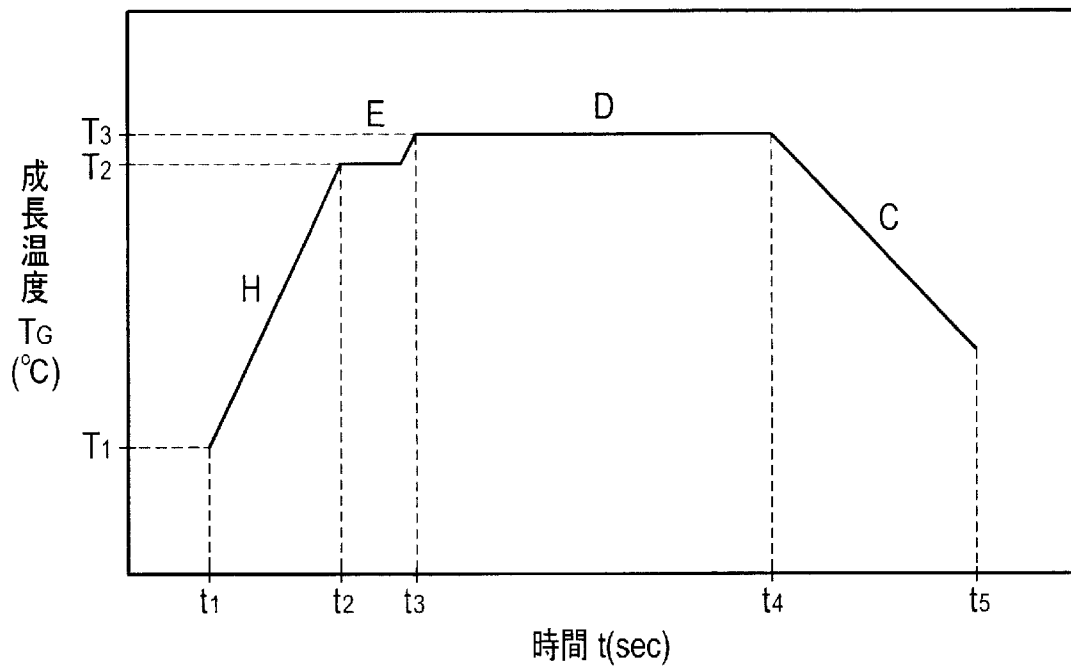
[図9]



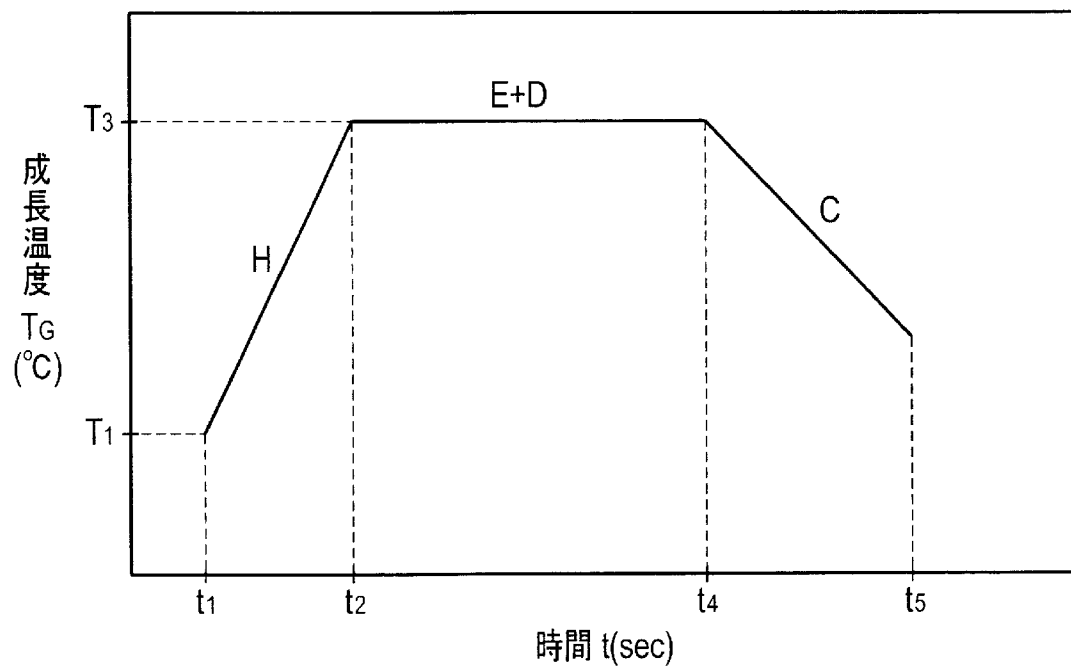
[図10]



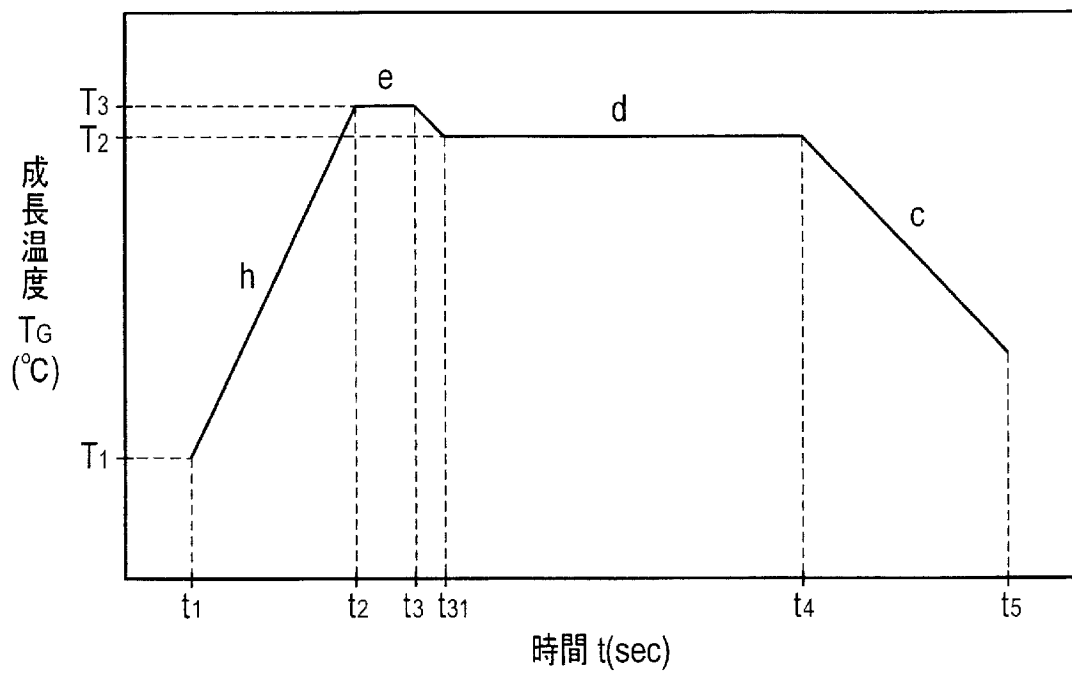
[図11]



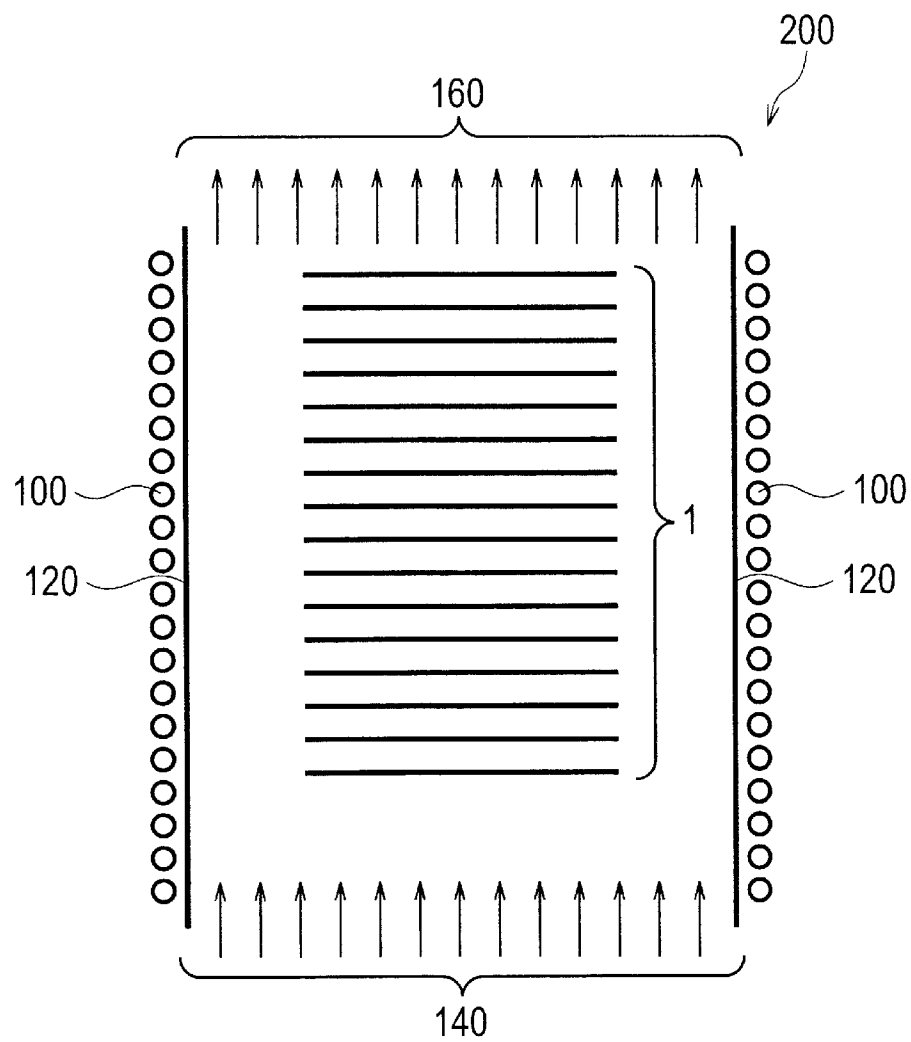
[図12]



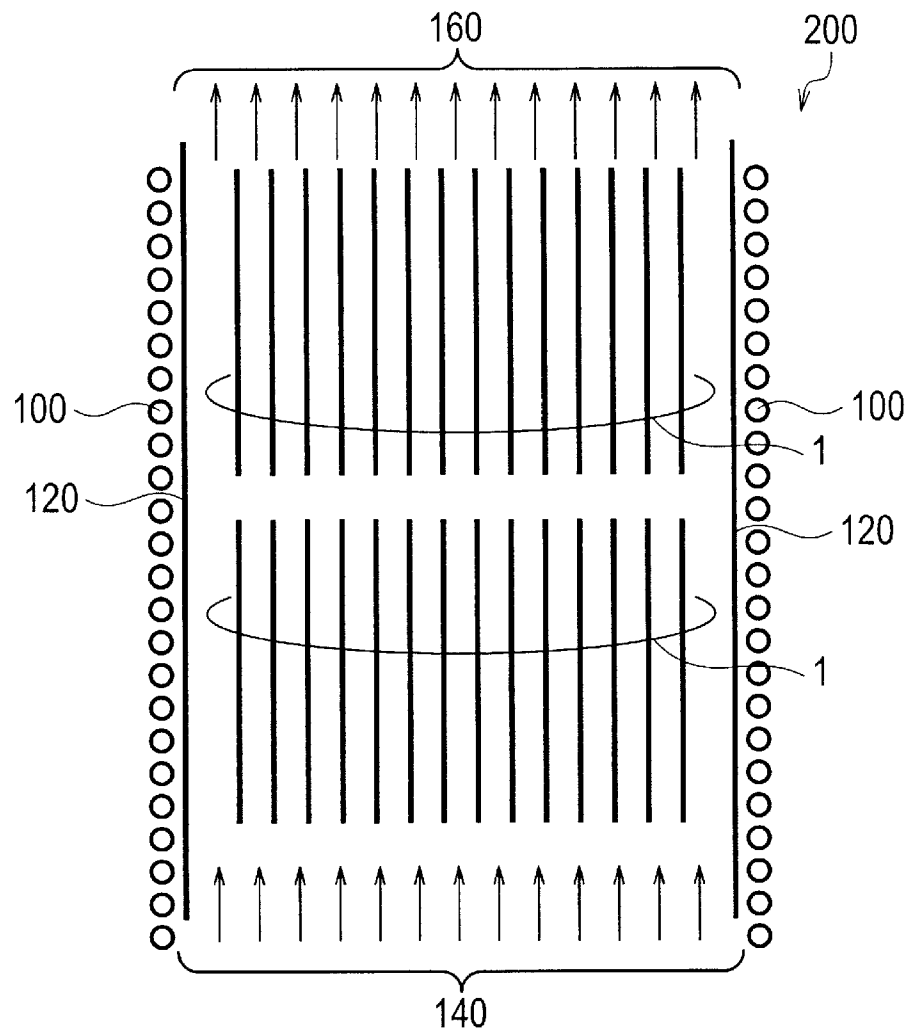
[図13]



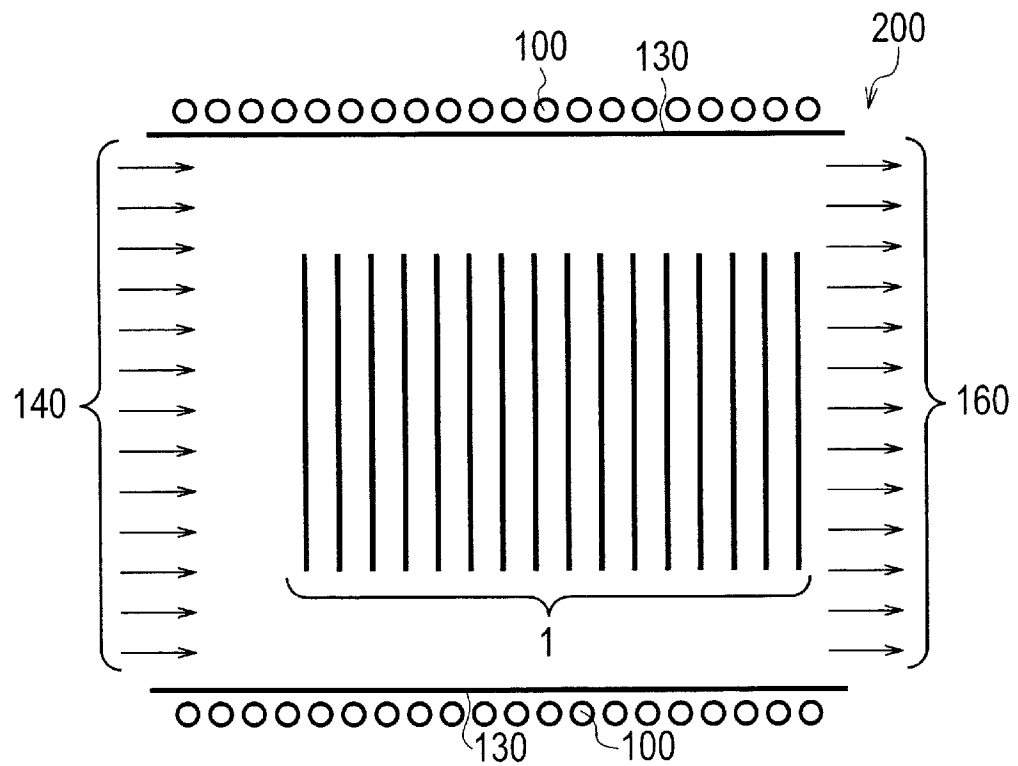
[図14]



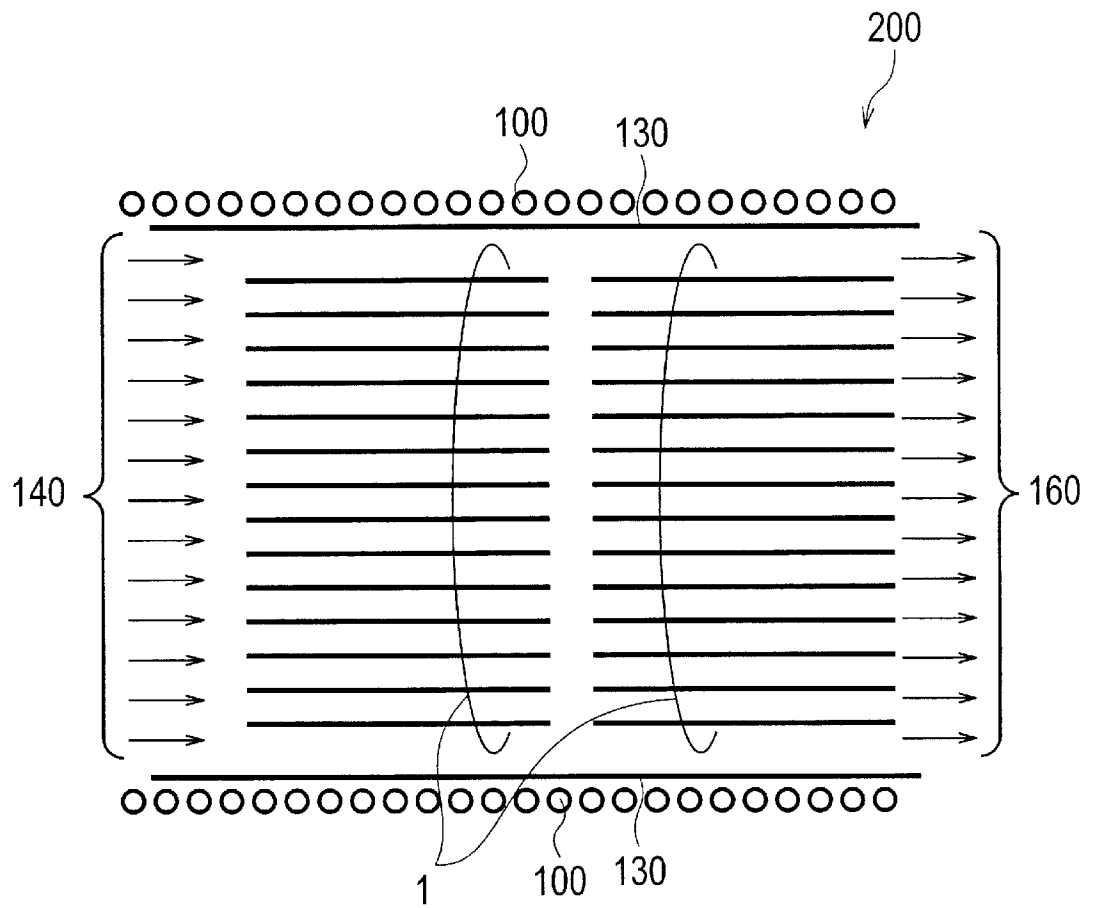
[図15]



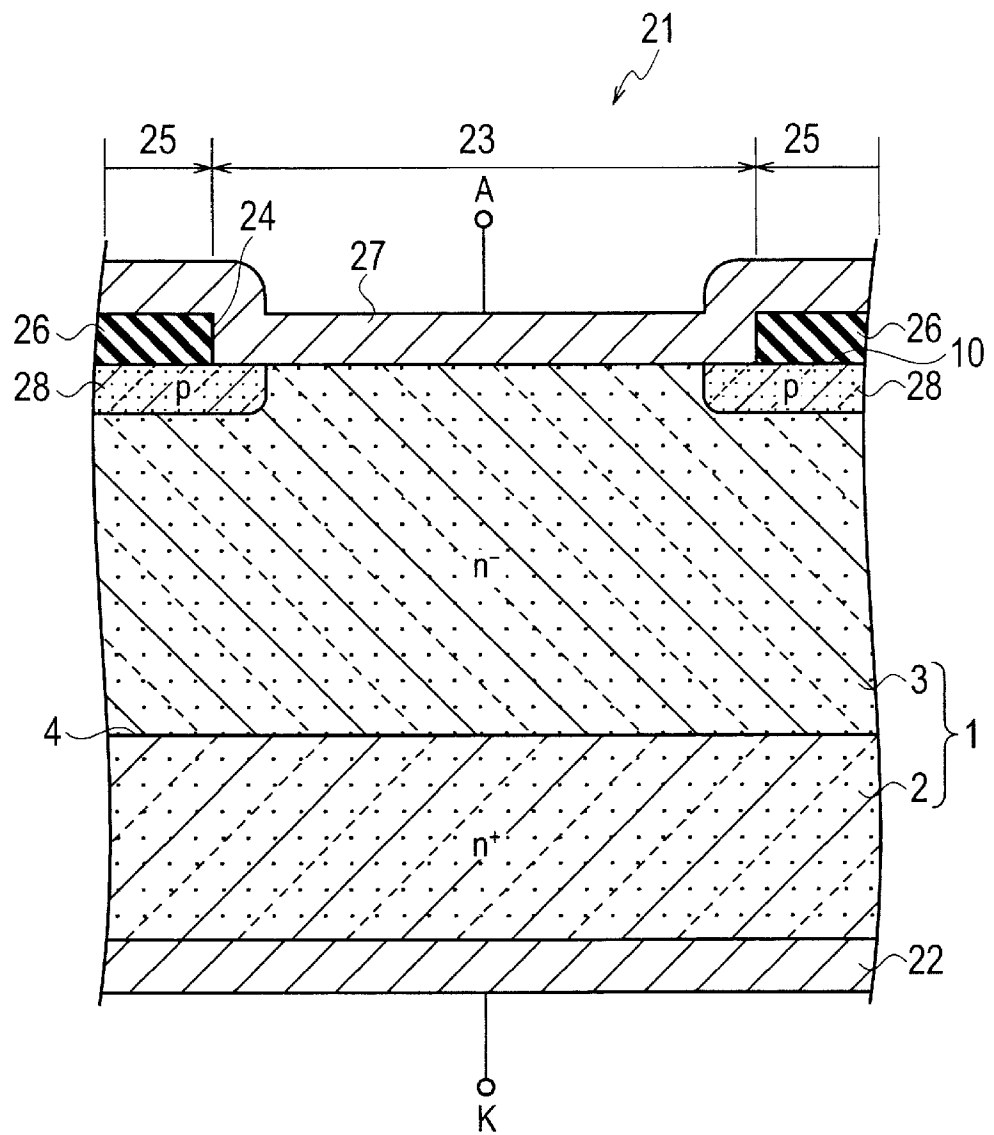
[図16]



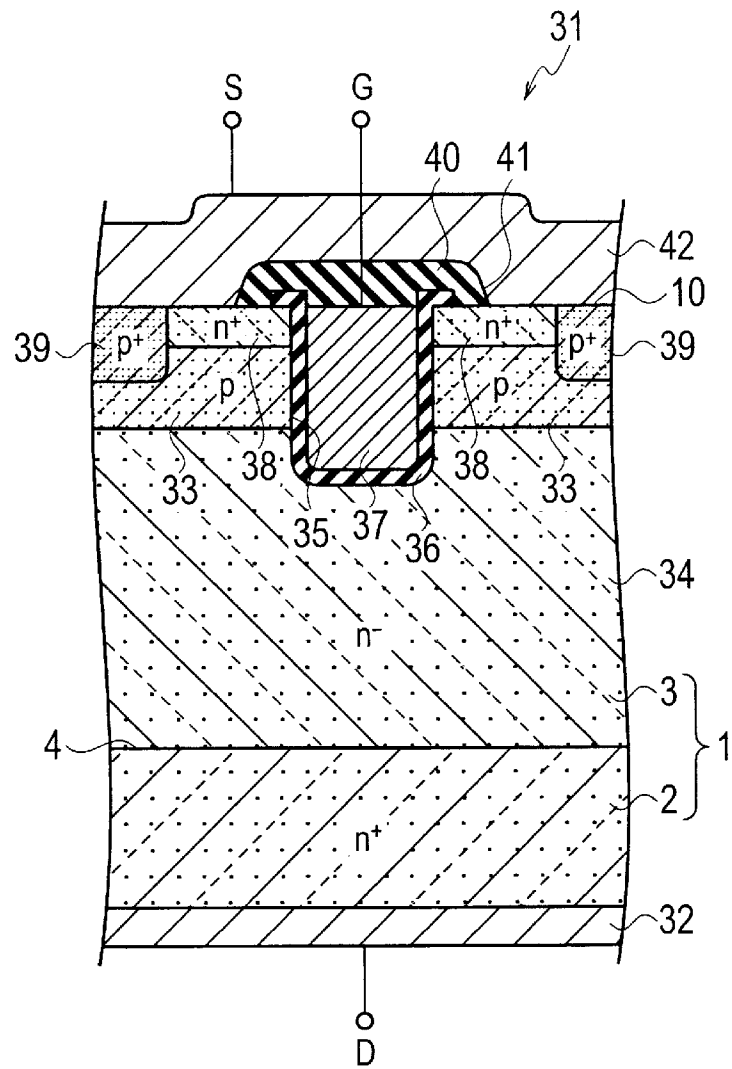
[図17]



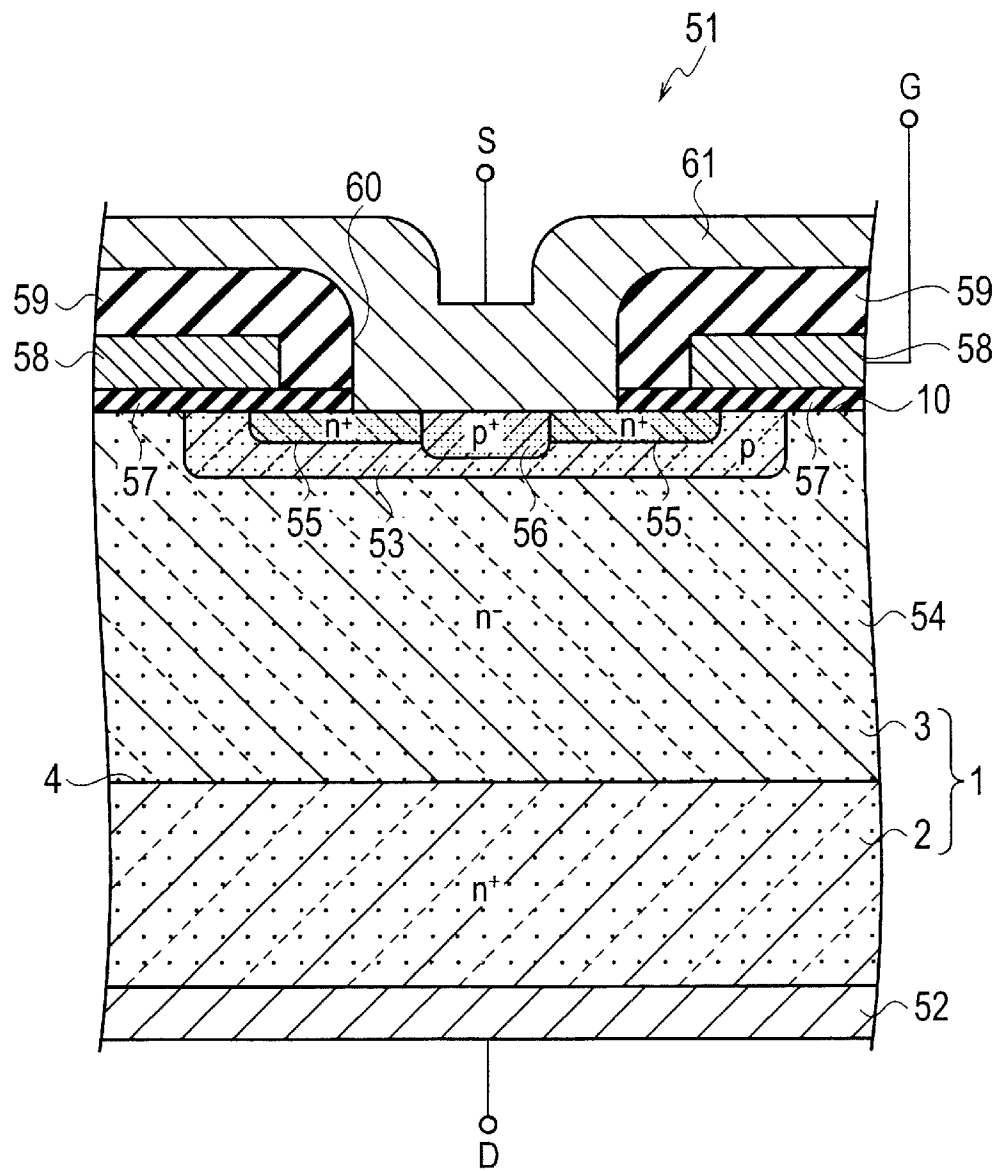
[図18]



[図19]



[図20]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/066208

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/205(2006.01)i, H01L21/28(2006.01)i, H01L21/329(2006.01)i, H01L21/336(2006.01)i, H01L29/12(2006.01)i, H01L29/41(2006.01)i, H01L29/417(2006.01)i, H01L29/423(2006.01)i, H01L29/47(2006.01)i, H01L29/49(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)

H01L21/205, H01L21/28, H01L21/329, H01L21/336, H01L29/12, H01L29/41, H01L29/417, H01L29/423, H01L29/47, H01L29/49, H01L29/78, H01L29/872

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 2002-220299 A (Hoya Corp.), 09 August 2002 (09.08.2002), paragraphs [0017], [0023], [0025], [0027], [0047] to [0050] & US 2002/0096104 A1 & EP 1225257 A2 & KR 10-2002-0062225 A	1, 4-7, 17, 24-27
Y		2, 3, 8-16, 18-23
Y	JP 6-192839 A (Canon Inc.), 12 July 1994 (12.07.1994), paragraphs [0082], [0083] (Family: none)	2, 3, 9, 10, 14-16, 18-23
Y	JP 2013-63891 A (Rohm Co., Ltd.), 11 April 2013 (11.04.2013), paragraph [0079] (Family: none)	8-16

☒ 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
17 August 2015 (17.08.15)

Date of mailing of the international search report
25 August 2015 (25.08.15)

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/JP2015/066208

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2012/144614 A1 (Nippon Steel Corp.), 26 October 2012 (26.10.2012), paragraphs [0018], [0026] & JP 5445694 B & US 2013/0320357 A1 & EP 2700739 A1 & CN 103370454 A & KR 10-2013-0133043 A	14-16
A	US 8163086 B2 (MUELLER et al.), 24 April 2012 (24.04.2012), entire text; all drawings & US 2012/0167825 A1 & US 2009/0056619 A1	1-27

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/066208

Continuation of A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
(International Patent Classification (IPC))

H01L29/78(2006.01)i, H01L29/872(2006.01)i

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

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/205(2006.01)i, H01L21/28(2006.01)i, H01L21/329(2006.01)i, H01L21/336(2006.01)i, H01L29/12(2006.01)i, H01L29/41(2006.01)i, H01L29/417(2006.01)i, H01L29/423(2006.01)i, H01L29/47(2006.01)i, H01L29/49(2006.01)i, H01L29/78(2006.01)i, H01L29/872(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. H01L21/205, H01L21/28, H01L21/329, H01L21/336, H01L29/12, H01L29/41, H01L29/417, H01L29/423, H01L29/47, H01L29/49, H01L29/78, H01L29/872

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 2002-220299 A (ホーヤ株式会社) 2002.08.09, 段落【0017】、 【0023】、【0025】、【0027】、【0047】 - 【0050】 & US 2002/0096104 A1 & EP 1225257 A2 & KR 10-2002-0062225 A	1, 4-7, 17, 24-27
Y		2, 3, 8-16, 18-23
Y	JP 6-192839 A (キヤノン株式会社) 1994.07.12, 段落【0082】、 【0083】（ファミリーなし）	2, 3, 9, 10, 14-16, 18-23

☒ 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

1 7 . 0 8 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

2 5 . 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）

正山 旭

5 0

9 2 7 6

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
Y	JP 2013-63891 A (ローム株式会社) 2013.04.11, 段落【0079】 (ファミリーなし)	8-16
Y	WO 2012/144614 A1 (新日本製鐵株式会社) 2012.10.26, 段落[0018]、 [0026] & JP 5445694 B & US 2013/0320357 A1 & EP 2700739 A1 & CN 103370454 A & KR 10-2013-0133043 A	14-16
A	US 8163086 B2 (MUELLER et al.) 2012.04.24, 全文、全図 & US 2012/0167825 A1 & US 2009/0056619 A1	1-27