

(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3月12日(12.03.2015)



(10) 国際公開番号  
**WO 2015/033674 A1**

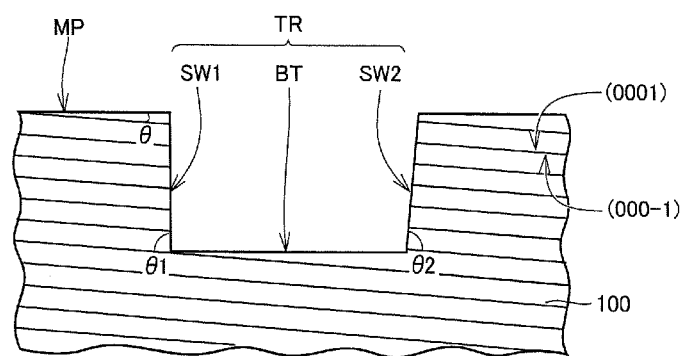
- (51) 国際特許分類:  
H01L 21/336 (2006.01) H01L 29/423 (2006.01)  
H01L 21/28 (2006.01) H01L 29/49 (2006.01)  
H01L 29/12 (2006.01) H01L 29/78 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/068881
- (22) 国際出願日: 2014年7月16日(16.07.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2013-184813 2013年9月6日(06.09.2013) JP
- (71) 出願人: 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 増田 健良 (MASUDA, Takeyoshi); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP). 玉祖 秀人 (TAMASO, Hideto); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所 (FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島二丁目2番7号 中之島セントラルタワー Osaka (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, LT, 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, 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: SILICON-CARBIDE SEMICONDUCTOR DEVICE AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR

(54) 発明の名称: 炭化珪素半導体装置およびその製造方法

FIG.4



(57) Abstract: This silicon-carbide semiconductor device has a silicon-carbide off-axis substrate (101) that has a principal surface (MP) that forms an off-angle ( $\theta$ ) with a basal plane. A trench (TR) is provided in said principal surface (MP). Said trench (TR) has a plurality of side walls (SW) and a bottom (BT) and is provided with the following: a gate-insulating film (91) that covers the side walls (SW) and the bottom (BT) of the trench (TR); and a gate electrode (92) provided on top of said gate-insulating film (91). The angle between each side wall (SW) of the trench (TR) and the abovementioned basal plane is greater than  $65^\circ$  but no greater than  $80^\circ$ . Each side wall (SW) opens in the same direction on either a silicon-surface side or a carbon-surface side.

(57) 要約: 炭化珪素半導体装置は、基底面に対するオフ角度 ( $\theta$ ) を有する主表面 (MP) を含む炭化珪素オフ基板 (101) を備え、主表面 (MP) には、トレンチ (TR) が設けられ、トレンチ (TR) は、複数の側壁 (SW) と底部 (BT) とを有し、さらに、側壁 (SW) と底部 (BT) とを覆うゲート絶縁膜 (91) と、ゲート絶縁膜 (91) 上に設けられたゲート電極 (92) と、を備え、トレンチ (TR) における側壁 (SW) の基底面に対する角度が、 $65^\circ$  を超え  $80^\circ$  以下であり、複数の側壁 (SW) の開口方向が、シリコン面側またはカーボン面側のいずれかに揃っている。



WO 2015/033674 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 細 書

**発明の名称：**炭化珪素半導体装置およびその製造方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、炭化珪素半導体装置に関する。

### 背景技術

[0002] 炭化珪素半導体装置は、現在主流である珪素半導体装置に比べて、電力損失が少なく、高温動作が可能である等の多くの利点を有しており、次世代の電力用半導体装置として期待されている。従来、半導体装置の構造として様々な構造が提案されている。たとえばトレンチゲート構造では、半導体基板にトレンチと呼ばれる溝が設けられる（たとえば、特開２０１２－１４６９２１号公報（特許文献１）参照。）。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献１：特開２０１２－１４６９２１号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0004] トレンチゲート構造では、トレンチの側壁に沿ってチャネル領域が形成される。すなわち、半導体装置の縦方向（基板の表面に対して垂直方向）にチャネル領域が形成される。このため半導体装置の微細化および高集積化が可能である。

[0005] ところで、炭化珪素半導体基板は、エピタキシャル成長を行なうために、主表面が基底面（たとえば（０００１）面）に対して所定のオフ角度を有するのが一般的である。このため炭化珪素半導体基板の表面にトレンチを設けると、通常は、トレンチ内において互いに対向する二つの側壁はそれぞれ面方位が異なることになる。

[0006] このように互いに対向する側壁の面方位が異なると、それぞれの側壁に沿って形成されるチャネル領域においても、電気特性（チャネル移動度）が異

なることとなる。これにより互いに対向する側壁で、電流のアンバランスが生じ、長期使用において炭化珪素半導体装置の信頼性が低下する場合がある。これは、抵抗の低い部分を優先して電流が流れるため、一方の側壁に沿って形成されたチャネル領域に電流が集中してしまうからである。

[0007] このような問題に対応するため、特許文献 1 では、トレンチを延設する方向を、基板のオフ方向に対して、所定の角度を有するように規定することにより、対向する側壁の面方位が異なることを抑制している。

[0008] しかしながら、炭化珪素半導体装置には、更なる高集積化が求められている。特許文献 1 の方法によれば、基板のオフ方向に対して、トレンチの配置が一義的に決定されるため、設計上の自由度が小さくなり、炭化珪素半導体装置の高集積化に関して制約となる場合がある。

[0009] そこで上記課題に鑑みて、高集積化が可能であるとともに、信頼性が高い炭化珪素半導体装置を提供することを目的とする。

### 課題を解決するための手段

[0010] 本発明の一態様に係る炭化珪素半導体装置は、基底面に対するオフ角度を有する主表面を含む炭化珪素オフ基板を備える。ここで、主表面には、トレンチが設けられ、当該トレンチは、複数の側壁と底部とを有している。さらに、炭化珪素半導体装置は、該側壁と該底部とを覆うゲート絶縁膜と、ゲート絶縁膜上に設けられたゲート電極と、を備えるものである。

[0011] そして、トレンチにおける側壁の基底面に対する角度が、 $65^{\circ}$  を超え  $80^{\circ}$  以下であり、複数の側壁の開口方向が、シリコン面側またはカーボン面側のいずれかに揃っている。

### 発明の効果

[0012] 上記の炭化珪素半導体装置は、高集積化が可能であるとともに、信頼性が高い。

### 図面の簡単な説明

[0013] [図1]本発明の一実施形態に係る炭化珪素半導体装置の構成の一例を概略的に示す図であり、図 2 の線 1-1 に沿う部分断面図、または図 3 の線 1-1 に

沿う部分断面図である。

[図2]図1の炭化珪素半導体装置が有する炭化珪素層の形状の一例を概略的に示す部分斜視図である。

[図3]図1の炭化珪素半導体装置が有する炭化珪素層の形状の他の一例を概略的に示す部分斜視図である。

[図4]本発明の一実施形態に係るトレンチの形状の一例を概略的に示す部分断面図である。

[図5]本発明の一実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造過程の一部を概略的に示す部分断面図である。

[図6]本発明の一実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造過程の一部を概略的に示す部分断面図である。

[図7]本発明の一実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造過程の一部を概略的に示す部分断面図である。

[図8]本発明の一実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造過程の一部を概略的に示す部分断面図である。

[図9]本発明の一実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造過程の一部を概略的に示す部分断面図である。

[図10]本発明の一実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造過程の一部を概略的に示す部分断面図である。

[図11]本発明の一実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造過程の一部を概略的に示す部分断面図である。

[図12]本発明の一実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造過程の一部を概略的に示す部分断面図である。

[図13]本発明の一実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造過程の一部を概略的に示す部分断面図である。

[図14]本発明の一実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造過程の一部を概略的に示す部分断面図である。

[図15]本発明の一実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造過程の一部を概

略的に示す部分断面図である。

[図16]本発明の一実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造過程の一部を概略的に示す部分断面図である。

[図17]本発明の一実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造過程の一部を概略的に示す部分断面図である。

[図18]本発明の一実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造過程の一部を概略的に示す部分断面図である。

[図19]本発明の一実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の概略を示すフローチャートである。

### 発明を実施するための形態

[0014] 以下、本発明に係わる一実施形態についてさらに詳細に説明する。なお、以下の図面において同一または相当する部分には同一の参照符号を付し、その説明は繰り返さない。また、本明細書中の結晶学的な記載においては、個別方位を  $[\ ]$ 、集合方位を  $\langle \rangle$ 、個別面を  $(\ )$ 、集合面  $\{ \}$  で、それぞれ示すものとする。また、結晶学上の指数が負であることは、通常、“ $-$ ”（バー）を数字の上に付すことによって表現されるが、本明細書中では数字の前に負の符号を付すことで表現するものとする。

[0015] [本願発明の実施形態の説明]

まず、本発明の一実施形態（以下、「本実施形態」とも記す）の概要を以下の（１）～（１４）に列記して説明する。

[0016] 本発明者は、上記課題を解決するため鋭意研究を行なったところ、基底面に対して、トレンチの側壁が特定の角度を有するように、トレンチを形成することにより、互いに対向する側壁に形成されるチャネル領域の特性をほぼ等価なものとするのができるとの知見を得、該知見に基づきさらに研究を重ねることにより、本実施形態を完成させるに至った。すなわち、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置は以下の構成を備える。

[0017] （１）本実施形態に係る炭化珪素半導体装置 ２０１ は、基底面に対するオフ角度  $\theta$  を有する主表面  $MP$  を含む炭化珪素オフ基板 １０１ を備える。ここ

で主表面MPにはトレンチTRが設けられ、トレンチTRは複数の側壁SWと底部BTとを有している。さらに炭化珪素半導体装置201は、側壁SWと底部BTとを覆うゲート絶縁膜91と、ゲート絶縁膜91上に設けられたゲート電極92と、を備える。

[0018] そして、トレンチTRにおける側壁SWの基底面に対する角度 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ が、 $65^\circ$ を超え $80^\circ$ 以下であり、複数の側壁SWの開口方向が、シリコン面側またはカーボン面側のいずれかに揃っている。

[0019] なおここで、基底面とは(0001)面または(000-1)面を示す。また、「シリコン面」とは(0001)面を示し、「カーボン面」とは(000-1)面を示し、以下の説明においては、「シリコン面」を「Si面」、「カーボン面」を「C面」と記すことがある。

[0020] さらに、図4を参照して、「側壁SWの開口方向がシリコン面側である」とは、側壁SWと(0001)面とのなす角度 $\theta_1$ および $\theta_2$ が、 $0^\circ$ 以上 $90^\circ$ 未満であることを示し、「側壁SWの開口方向がカーボン面側である」とは、側壁SWと(000-1)面とのなす角度 $\theta_1$ および $\theta_2$ が $0^\circ$ 以上 $90^\circ$ 未満であることを示す。

[0021] 以上の構成を備える炭化珪素半導体装置201によれば、トレンチTRの互いに対向する側壁SWにほぼ等価な結晶面を表出させることができる。すなわち、互いに対向する側壁SWに沿って形成されるチャネル領域の特性(チャネル移動度)をほぼ同等なものとすることができる。これにより、対向する側壁SWに形成されたチャネル領域同士で電流のアンバランスが生じることを防止できるため、高い信頼性を有することができる。また、炭化珪素オフ基板101のオフ方向に対して、トレンチTRの配置が制限されないため、炭化珪素半導体装置の更なる高集積化が可能である。

[0022] (2) 炭化珪素オフ基板101は、オフ方向が $\langle 11-20 \rangle$ 方向であることが好ましい。オフ方向が $\langle 11-20 \rangle$ 方向である炭化珪素オフ基板は市場における入手の容易性が高く好適である。

[0023] (3) 炭化珪素オフ基板101のオフ角度 $\theta$ は、 $1^\circ$ 以上 $8^\circ$ 以下である

ことが好ましい。これにより、炭化珪素オフ基板 101 は、結晶欠陥の少ない基板となることができる。

[0024] (4) トレンチ TR は、複数の側壁 SW が連なることにより、平面視において閉じた形状を有しており、すべての側壁 SW がゲート絶縁膜 91 に覆われていることが好ましい。これにより、すべての側壁 SW に沿ってチャネル領域が形成され、かつそれぞれの側壁 SW でのチャネル移動度がほぼ等価であるため、さらに信頼性の向上した炭化珪素半導体装置を構成することができる。

[0025] (5) 複数の側壁 SW は互いに対向する第 1 の側壁 SW1 および第 2 の側壁 SW2 を含み、第 1 の側壁 SW1 の基底面に対する角度  $\theta 1$  と、第 2 の側壁 SW2 の基底面に対する角度  $\theta 2$  との差異は、オフ角度  $\theta$  以下であることが好ましい。これにより、第 1 の側壁 SW1 に沿って形成されるチャネル領域の特性と、第 2 の側壁 SW2 に沿って形成されるチャネル領域の特性とを、より一層近似させることができる。

[0026] (6) 複数の側壁 SW の開口方向が、すべてシリコン面側であることが好ましい。これにより、すべての側壁 SW に表出する面をカーボン面に近似した結晶面とすることができるため、すべてのチャネル領域でカーボン面に近似した特性を利用することができる。

[0027] (7) 炭化珪素オフ基板 101 とゲート絶縁膜 91 との界面から 10 nm 以内の領域における水素濃度が、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  以上であることが好ましい。これにより、シリコン面側に開口した側壁 SW とゲート絶縁膜 91 との界面において、界面準位の形成が抑制され、チャネル移動度を向上させることができる。

[0028] (8) 複数の側壁 SW の開口方向が、すべてカーボン面側であることが好ましい。これにより、すべての側壁 SW に表出する面をシリコン面に近似した結晶面とすることができるため、すべてのチャネル領域でシリコン面に近似した特性を利用することができる。

[0029] (9) 炭化珪素オフ基板 101 とゲート絶縁膜 91 との界面から 10 nm

以内の領域における窒素濃度が、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上であることが好ましい。これにより、カーボン面側に開口した側壁SWとゲート絶縁膜91との界面において、界面準位の形成が抑制され、チャネル移動度を向上させることができる。

[0030] (10) 上記の炭化珪素半導体装置は、次の製造方法によって製造することができる。すなわち、炭化珪素半導体装置の製造方法は、主表面MPを有する炭化珪素オフ基板101を準備する工程S1と、主表面MPに対して、異方性のエッチングを行なうことにより、側壁SWと底部BTとを有するトレンチTQを形成する第1のエッチング工程S2と、側壁SWおよび底部BTに対して、等方性のエッチングを行なうことにより、側壁SWの基底面に対する角度 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ を $65^\circ$ を超え $80^\circ$ 以下とする第2のエッチング工程S3と、を備える。

[0031] これにより、トレンチTRの互いに対向する側壁SWの開口方向をシリコン面側またはカーボン面側のいずれかに揃えることができ、対向する側壁SWにほぼ等価な結晶面が表出した炭化珪素半導体装置を製造することができる。

[0032] (11) 第1のエッチング工程S2により除去される炭化珪素オフ基板101の除去深さ $d_1$ が、第2のエッチング工程S3により除去される炭化珪素オフ基板101の除去深さ $d_2$ よりも深いことが好ましい。これにより、さらに確実に互いに対向する側壁SWにほぼ等価な結晶面を表出させることができる。

[0033] (12) 第1のエッチング工程S2は、側壁SWの基底面に対する角度が $80^\circ$ 以上となるように、主表面MPをエッチングする工程を含むことが好ましい。これにより、第2のエッチング工程S3でのエッチングにより側壁SWが部分的に除去されたとき、当該エッチング後の側壁SWの基底面に対する角度を容易に $80^\circ$ 以下とすることができる。このため、さらに確実に互いに対向する側壁SWにほぼ等価な結晶面を表出させることができる。

[0034] (13) 側壁SWの開口方向が、シリコン面側である場合、炭化珪素半導

体装置の製造方法は、側壁SWと底部BTとを覆うゲート絶縁膜91を形成する工程S4と、炭化珪素オフ基板101とゲート絶縁膜91との界面に水素を導入する工程S51と、をさらに備えることが好ましい。これにより、当該界面での界面準位の形成が抑制され、チャネル移動度が向上した炭化珪素半導体装置を製造することができる。

[0035] (14) 側壁SWの開口方向が、カーボン面側である場合、炭化珪素半導体装置の製造方法は、側壁SWと底部BTとを覆うゲート絶縁膜91を形成する工程S4と、炭化珪素オフ基板101とゲート絶縁膜91との界面に窒素を導入する工程S52と、をさらに備えることが好ましい。これにより、当該界面での界面準位の形成が抑制され、チャネル移動度が向上した炭化珪素半導体装置を製造することができる。

[0036] [本願発明の実施形態の詳細]

以下、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置について、より詳細に説明するが、本実施形態はこれらに限定されるものではない。

[0037] <炭化珪素半導体装置>

図1は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置201の構成を概略的に示す断面図である。図1に示す炭化珪素半導体装置201は、トレンチゲート型MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) として構成されている。炭化珪素半導体装置201は、炭化珪素オフ基板101と、ゲート絶縁膜91と、ゲート電極92と、層間絶縁膜93と、ソース電極94と、ソース配線層95と、ドレイン電極98とを有する。炭化珪素オフ基板101は、単結晶層80と、単結晶層80上にエピタキシャル成長させられた炭化珪素層100とからなる。炭化珪素オフ基板101の主表面MPには、側壁SWと底部BTとを有するトレンチTRが設けられている。そして、炭化珪素半導体装置201では、側壁SWに沿ってチャネル領域が形成される。

[0038] なお、以下の説明において、複数の側壁を総称して側壁SWと記すことがあり、また個別の側壁を、第1の側壁SW1または第2の側壁SW2と記す

ことがある。また、以下の説明における各層または領域等の導電型はあくまでも例示であり、各層または領域等の極性は、これらに限定されるものではない。

[0039] 炭化珪素オフ基板 101 の主表面 MP は、基底面（すなわち (0001) 面または (000-1) 面）に対して、オフ角度  $\theta$ （図 4 参照）を有するように傾いている。オフ角度  $\theta$  は、 $1^{\circ}$  以上  $8^{\circ}$  以下であることが好ましい。これにより、エピタキシャル成長によって形成される炭化珪素層 100 の結晶品質が高まるからである。なお、オフ角度  $\theta$  は、より好ましくは  $2^{\circ}$  以上  $6^{\circ}$  以下であり、さらに好ましくは  $3^{\circ}$  以上  $5^{\circ}$  以下である。また、炭化珪素オフ基板 101 のオフ方向は、 $\langle 11-20 \rangle$  方向であることが好ましい。オフ方向が  $\langle 11-20 \rangle$  方向である炭化珪素オフ基板は市場における入手の容易性が高いからである。

[0040] 炭化珪素層 100 は、単結晶層 80 上にエピタキシャル成長させられた炭化珪素層である。単結晶層 80 は、 $n$  型の導電型を有する。炭化珪素層 100 は、ポリタイプ 4H の六方晶の結晶構造を有する。かかる結晶構造を採用することにより、炭化珪素半導体装置 201 のオン抵抗を低くすることができる。炭化珪素層 100 の上面は、炭化珪素オフ基板 101 の主表面 MP を構成している。炭化珪素層 100 は、 $n$  ドリフト層 81 と、 $p$  ボディ層 82 と、 $n+$  層 83 と、 $p$  コンタクト領域 84 とを有する。

[0041]  $n$  ドリフト層 81 は、 $n$  型の導電型を有する。 $n$  ドリフト層 81 の不純物濃度は、単結晶層 80 の不純物濃度よりも低いことが好ましい。ここで、 $n$  ドリフト層 81 の不純物濃度は、好ましくは  $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  以上  $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  以下である。

[0042]  $p$  ボディ層 82 は、 $p$  型の導電型を有する。 $p$  ボディ層 82 は  $n$  ドリフト層 81 上に設けられている。 $p$  ボディ層 82 の不純物濃度は、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  以上  $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以下であることが好ましく、たとえば、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  程度とすることができる。

[0043]  $n+$  層 83 は、 $n$  型の導電型を有する。 $n+$  層 83 は、 $p$  ボディ層 82 に

よってnドリフト層81から隔てられるように、pボディ層82上に設けられている。さらに、n+層83内にはpコンタクト領域84が設けられている。n+層83およびpコンタクト領域84は、主表面MPの一部を構成している。さらに、n+層83およびpコンタクト領域84に接して、この上にソース電極94が設けられている。

[0044] 炭化珪素層100の上面、すなわち炭化珪素オフ基板101の主表面MPにはトレンチTRが設けられている。ここで、トレンチTRを有する炭化珪素層100の形状について説明する。図2は、炭化珪素層100の形状の一例を概略的に示す部分斜視図である。この例において、トレンチTRはハニカム構造の網目を構成するように伸びており、トレンチTRの底部BTには、nドリフト層81が表出している。そして、複数の側壁SWは、六角錐台（メサ構造）の斜面をなすように形成されており、それぞれの側壁SWには、nドリフト層81の一部とpボディ層82とn+層83とが表出している。主表面MPは、メサ構造の頂面を構成しており、平面視では六角形状を有している。pコンタクト領域84は、メサ構造において、頂面のほぼ中央に形成され、その平面形状は六角形（頂面）と相似形である。そして、すべての側壁SWがゲート絶縁膜91に覆われ、トレンチTR内にゲート電極92が設けられることにより、メサ構造の六面の側壁SW（すなわち、すべての側壁SW）がチャネル領域として利用できる。

[0045] また、炭化珪素層100の形状は、図3に示す形状であってもよい。図3は、炭化珪素層100の形状の他の一例を概略的に示す部分斜視図である。この例においては、主表面MPがハニカム構造の網目を構成するように伸びており、主表面MPによって取り囲まれた領域内にトレンチTRが設けられている。トレンチTRは、平面視では六角形状を有している。すなわち、トレンチTRは複数の側壁SWが連なることにより、平面視において閉じた形状を有している。そして、トレンチTRの底部BTにはnドリフト層81が表出しており、それぞれの側壁SWにはnドリフト層81の一部とpボディ層82とn+層83とが表出している。この構造において、すべての側壁S

Wがゲート絶縁膜91に覆われ、トレンチTR内にゲート電極92が設けられることにより、トレンチTR内の六面の側壁SW（すなわち、すべての側壁SW）がチャネル領域として利用できる。

[0046] 次に、トレンチTRの詳細な形状について説明する。図4は、図1に示す炭化珪素半導体装置201におけるトレンチTR周辺の部分拡大図である。なお図4には、トレンチTRの形状を分かりやすく図示するため、ゲート絶縁膜91、ゲート電極92、およびnドリフト層81等を図示していない。

[0047] 図4に示すように、トレンチTRは、互いに対向する第1の側壁SW1および第2の側壁SW2と底部BTとを有している。ここで、図4に示す平行な斜線群は、基底面（この例では（0001）面）を示している。図4に示すように、主表面MPは基底面に対してオフ角度 $\theta$ を有するように傾いている。そして、トレンチTRは、第1の側壁SW1が基底面に対する角度 $\theta_1$ を有し、第2の側壁SW2が基底面に対する角度 $\theta_2$ を有するように形成されている。本実施形態では、角度 $\theta_1$ および $\theta_2$ は、 $65^\circ$ を超え $80^\circ$ 以下である。そして図4では、第1の側壁SW1および第2の側壁SW2は、ともに（0001）面側（すなわち、Si面側）に開口している。

[0048] これにより、第1の側壁SW1および第2の側壁SW2のそれぞれの開口方向が同じ（0001）面側になるので、第1の側壁SW1に表出する面と、第2の側壁SW2に表出する面とが互いにほぼ等価な面となり、これらに沿って形成されるチャネル領域においてチャネル移動度をほぼ同等にすることができる。したがって装置の動作時には、それぞれのチャネル領域に均等に電流が流れ、一方に電流が集中することがない。そのため高い信頼性を有することができる。

[0049] また本実施形態においては、基底面に対して側壁SWの角度を規定するため、基板のオフ方向によってトレンチTRの配置が制限されることがない。したがって、設計上の自由度が高く、炭化珪素半導体装置の更なる高集積化に資することができる。

[0050] なおここで、第1の側壁SW1に表出する面と、第2の側壁SW2に表出

する面とを、より等価な面に近づけるとの観点から、角度 $\theta_1$ および $\theta_2$ は、より好ましくは $70^\circ$ を超え $80^\circ$ 以下であり、さらに好ましくは $72^\circ$ を超え $80^\circ$ 以下である。

[0051] また図4は、基底面を(0001)面として、第1の側壁SW1および第2の側壁SW2が、ともに(0001)面側に開口する態様を例示したが、基底面は(000 $\bar{1}$ )面であってもよく、その場合は第1の側壁SW1および第2の側壁SW2は、ともに(000 $\bar{1}$ )面側（すなわち、C面側）に開口することとなる。

[0052] さらに、前述の図2または図3に示されるように、炭化珪素半導体装置201は、複数の側壁SW（複数の第1の側壁SW1および第2の側壁SW2）を有している。本実施形態では、複数の側壁SWの開口方向が、すべてSi面側またはC面側のいずれかに揃っている。したがって、すべての互に対向する第1の側壁SW1および第2の側壁SW2の組において、均等に電流が流れることとなり、より一層高い信頼性を実現することができる。

[0053] ここで、角度 $\theta_1$ と角度 $\theta_2$ との差異は、オフ角度 $\theta$ 以下であることが好ましい。このように、角度 $\theta_1$ と角度 $\theta_2$ との差異が小さくなることにより、第1の側壁SW1に沿って形成されるチャネル領域の特性と、第2の側壁SW2に沿って形成されるチャネル領域の特性との差異もより一層小さくなる。

[0054] なお図1等において、底部BTは第1の側壁SW1および第2の側壁SW2と交差する方向に伸びる面を構成しているが、底部BTの断面形状はこれに限定されず、トレンチTRの断面形状はV字形状やU字形状等であってもよい。

[0055] 本実施形態において、複数の側壁SWの開口方向が、すべてSi面側である場合、すべてのチャネル領域でC面に近似した特性を利用することができる。すべての側壁SWに表出する面がC面に近似した結晶面となるからである。そして、この場合、炭化珪素オフ基板101とゲート絶縁膜91との界面から10nm以内の領域における水素濃度は、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上である。

ことが好ましい。C面に近似した特性を有する側壁SWとゲート絶縁膜91との界面に水素(H)が導入されることによって、界面準位の形成が効率的に抑制され、チャネル移動度を向上させることができるからである。なお、水素濃度は、より好ましくは $1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 以上である。

[0056] また、本実施形態において、複数の側壁SWの開口方向が、すべてC面側である場合、すべてのチャネル領域でSi面に近似した特性を利用することができる。すべての側壁SWに表出する面がSi面に近似した結晶面となるからである。そしてこの場合、炭化珪素オフ基板101とゲート絶縁膜91との界面から10nm以内の領域における窒素濃度は、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上であることが好ましい。Si面に近似した特性を有する側壁SWとゲート絶縁膜91との界面に窒素(N)が導入されることによって、界面準位の形成が効率的に抑制され、チャネル移動度を向上させることができるからである。なお窒素濃度は、より好ましくは $1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 以上である。

[0057] なお、上記のような炭化珪素オフ基板101とゲート絶縁膜91との界面から10nm以内の領域における水素濃度および窒素濃度は、二次イオン質量分析法(SIMS: Secondary Ion Mass Spectrometry)によって計測することができる。

[0058] <炭化珪素半導体装置の製造方法>

以上に説明した本実施形態の炭化珪素半導体装置は、次のような製造方法によって製造することができる。図19は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の概略を示すフローチャートである。図19に示すように、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法は、工程S1、工程S2および工程S3を備えるものであり、さらに工程S4と、工程S4の後に工程S51および工程S52の少なくともいずれかを備えることができる。なおこの製造方法は、図2または図3に示すいずれの構造に対しても適用可能である。以下、各工程について説明する。

[0059] <工程S1>

工程S1では、主表面MPを有する炭化珪素オフ基板101を準備する。

炭化珪素オフ基板 101 は、炭化珪素からなる単結晶層 80 上にエピタキシャル成長によって炭化珪素層 100 を形成することにより準備される。ここで単結晶層 80 は、たとえば、ポリタイプ 4 H の六方晶炭化珪素からなるインゴット（図示せず）を、基底面に対して所定のオフ角度  $\theta$  を有するようにスライスすることによって得ることができる。そしてオフ角度  $\theta$  を有する単結晶層 80 の上面において炭化珪素層 100 をエピタキシャル成長させることにより、炭化珪素層 100 の上面（すなわち、主表面 MP）が、オフ角度  $\theta$  を有する炭化珪素オフ基板 101 を準備することができる。

[0060] 炭化珪素層 100 のエピタキシャル成長は、たとえば、原料ガスとして、シラン（ $\text{SiH}_4$ ）とプロパン（ $\text{C}_3\text{H}_8$ ）との混合ガスを用い、キャリアガスとして、たとえば水素ガス（ $\text{H}_2$ ）を用いた CVD（Chemical Vapor Deposition）法により行なうことができる。この際、不純物として、たとえば窒素（N）やリン（P）を導入することが好ましい。これにより図 5 に示すように、炭化珪素層 100 内に n ドリフト層 81 が形成される。

[0061] 次に図 6 に示すように、n ドリフト層 81 上に、p ボディ層 82 および n+層 83 が形成される。これらの形成は、たとえば n ドリフト層 81 の全面上へのイオン注入によって行なうことができる。p ボディ層 82 を形成するためのイオン注入では、たとえばアルミニウム（Al）等の p 型を付与するための不純物がイオン注入される。また n+層 83 を形成するためのイオン注入では、たとえばリン（P）等の n 型を付与するための不純物がイオン注入される。なおイオン注入の代わりに、不純物の添加を伴うエピタキシャル成長を行なってもよい。

[0062] 次に図 7 に示すように、n+層 83 上にレジスト膜 60 が形成される。続いて図 8 に示すように、レジスト膜 60 に対して露光および現像が行なわれる。これにより、p コンタクト領域 84 が形成されることとなる位置に対応した開口を有するマスク層 61 が形成される。次にマスク層 61 を介してイオン注入を行なうことにより、p コンタクト領域 84 が形成される。その後、図 9 に示すようにマスク層 61 は除去される。

[0063] 次に、不純物を活性化するための熱処理が行なわれる。このときの熱処理温度は、好ましくは $1500^{\circ}\text{C}$ 以上 $1900^{\circ}\text{C}$ 以下であり、たとえば $1700^{\circ}\text{C}$ 程度である。熱処理時間は、たとえば30分程度とすることができる。熱処理の雰囲気は、好ましくは不活性ガス雰囲気であり、たとえばアルゴン(Ar)雰囲気である。

[0064] <工程S2>

次に、図10および11、ならびに図12および13を参照して、主表面MPに対して、異方性のエッチングを行なうことにより、側壁SWと底部BTとを有するトレンチTQを形成する第1のエッチング工程S2が実行される。

[0065] まず、図10および11を参照して、工程S2の概略を説明する。図10に示すように、n+層83およびpコンタクト領域84からなる面上（主表面MP上）に、開口部を有するマスク層40がフォトリソグラフィ法によって形成される。マスク層40としては、たとえば酸化珪素( $\text{SiO}_2$ )膜等を用いることができる。またマスク層40の開口部は、トレンチTRの位置に対応して形成される。次にマスク層40を介して、主表面MPに対して異方性のエッチングを行なうことにより、図11に示すトレンチTQが形成される。

[0066] さらに、図12および13を参照して、工程S2をより詳細に説明する。図12および13は、トレンチTQが形成される位置の周辺を示す部分拡大図である。図12および13には、説明を分かりやすくするため、nドリフト層81やpボディ層82等を図示せず、さらに寸法関係等も図10および11とは異ならせている。また、図12および13において、炭化珪素オフ基板101内の斜線群は基底面を示している。また、以下の説明において、基底面を(0001)面(Si面)として説明するが、基底面は(000-1)面(C面)であってもよい。

[0067] 図12および13を参照して、第1のエッチングは、異方性のエッチングによって行なわれる。異方性のエッチングとしては、たとえば、反応性イオ

ンエッチング（R I E）、特に誘導結合プラズマ（I C P）－R I Eを用いることができる。より具体的には、たとえば反応性ガスとしてS F<sub>6</sub>とO<sub>2</sub>との混合ガスを用いたI C P－R I Eを用いることができる。

[0068] このような異方性のエッチングにより、炭化珪素オフ基板101の厚さ方向（図13中の縦方向）に、ほぼ沿った側壁S Wを有するトレンチT Qが形成される。このとき、図13に示すように、第1の側壁S W 1と（0001）面とのなす角度 $\theta 1$ は0°以上90°未満となっている。すなわち、第1の側壁S W 1の開口方向はS i面側である。これに対して、第2の側壁S W 2と（0001）面とのなす角度 $\theta 2$ は90°を超えている。したがって第2の側壁S W 2の開口方向は、（0001）面の反対側、すなわちC面側である。つまりこの状態では、第1の側壁S W 1と第2の側壁S W 2は、互いに開口方向が異なっている。なお工程S 2においては、トレンチT Qの第1の側壁S W 1と基底面とのなす角度 $\theta 1$ が、80°以上となるように、エッチングが行なわれることが好ましい。これにより、後述する工程S 3において、第1の側壁S W 1および第2の側壁S W 2にほぼ等価な面を表出させやすくなるからである。

[0069] <工程S 3>

次に、図14に示すように、工程S 2によって形成された第1の側壁S W 1、第2の側壁S W 2、および底部B Tに対して等方性のエッチングを行なうことにより、第1の側壁S W 1および第2の側壁S W 2の基底面に対する角度を65°を超え80°以下とする第2のエッチング工程S 3が実行される。これにより、第1の側壁S W 1の開口方向と、第2の側壁S W 2の開口方向が揃うとともに、第1の側壁S W 1に表出する面と、第2の側壁S W 2に表出する面とをほぼ等価な面とすることができる。なお図14では、第1の側壁S W 1および第2の側壁S W 2の開口方向がS i面側に揃っている態様を例示しているが、その開口方向はC面側に揃っていてもよい。

[0070] 等方性のエッチングとしては、少なくとも1種以上のハロゲン原子を有する反応性ガスを含む雰囲気中で行なわれる熱エッチングが好適である。この

熱エッチングにおいて、少なくとも1種以上のハロゲン原子には、塩素（Cl）原子およびフッ素（F）原子の少なくともいずれかが含まれる。たとえば、反応ガスとして $\text{Cl}_2$ 、 $\text{BCl}_3$ 、 $\text{SF}_6$ 、または $\text{CF}_4$ を用いることができる。具体的な熱エッチングの条件は、塩素ガスと酸素ガスとの混合ガスを反応ガスとして用い、熱処理温度は、たとえば $700^\circ\text{C}$ 以上 $1000^\circ\text{C}$ 以下とすることができる。

[0071] ここで、酸素ガスに対する塩素ガスの流量比率（（塩素ガス流量）／（酸素ガス流量））は、好ましくは0.5以上4.0以下であり、より好ましくは1.0以上2.0以下である。また、反応ガスは、上述した塩素ガスと酸素ガスとに加えて、キャリアガスを含んでいてもよい。キャリアガスとしては、たとえば窒素（ $\text{N}_2$ ）ガス、アルゴンガス、ヘリウムガスなどを用いることができる。そして、上述のように熱処理温度を $700^\circ\text{C}$ 以上 $1000^\circ\text{C}$ 以下とした場合、炭化珪素（SiC）のエッチング速度はたとえば $70\mu\text{m/hr}$ 程度になる。また、この場合にマスク層40として酸化珪素（ $\text{SiO}_2$ ）を用いると、 $\text{SiO}_2$ に対するSiCの選択比を極めて大きくすることができるので、SiCのエッチング中に $\text{SiO}_2$ からなるマスク層40は実質的にエッチングされない。

[0072] そして上記の熱エッチングにおいて、エッチングに要する時間を適宜調節することにより、角度 $\theta_1$ および角度 $\theta_2$ を、 $65^\circ$ を超え $80^\circ$ 以下とすることができる。このとき角度 $\theta_1$ および角度 $\theta_2$ は、好ましくは $70^\circ$ を超え $80^\circ$ 以下とされ、より好ましくは $72^\circ$ を超え $80^\circ$ 以下とされる。

[0073] なお角度 $\theta_1$ および角度 $\theta_2$ を上記の範囲に制御しやすいとの観点から、第1のエッチング（異方性のエッチング）による除去深さ（図13および14中のd1）が、第2のエッチング（等方性のエッチング）による除去深さ（図14中のd2）よりも深いことが好ましい。

[0074] 以上のように、工程S1～工程S3を経ることにより、炭化珪素オフ基板101の主表面MPに、互いに対向する側壁SWの開口方向が揃っており、かつ互いに対向する側壁SWにほぼ等価な面が表出したトレンチTRを設け

ることができる。なおマスク層40は、図15に示すようにエッチング等の任意の方法によって除去することができる。

[0075] <工程S4>

次に図16を参照して、トレンチTRの側壁SWと底部BTとを覆うゲート絶縁膜91を形成する工程S4を実行することができる。ゲート絶縁膜91は、たとえば熱酸化により形成することができる。

[0076] <工程S51>

上記のように本実施形態において、側壁SW（第1の側壁SW1および第2のSW2）の開口方向は、Si面側またはC面側のいずれの方向であってもよい。ここで、側壁SWの開口方向がSi面側である場合は、ゲート絶縁膜91が形成された後に、炭化珪素オフ基板101とゲート絶縁膜91との界面に水素を導入する工程S51が実行されることが好ましい。

[0077] 具体的には、雰囲気ガスとして水素（H<sub>2</sub>）ガスを用いた熱処理（以下「水素アニール」とも記す）が行なわれることが好ましい。水素アニールの熱処理条件としては、たとえば熱処理温度を1100℃以上1300℃以下、熱処理時間を1時間程度とする条件を用いることができる。これにより、炭化珪素オフ基板101とゲート絶縁膜91との界面に水素を導入することができる。水素が導入されることにより、C面に近似した特性を有する側壁SWとゲート絶縁膜91との界面において、界面準位の形成が抑制され、半導体装置においてチャネル移動度が向上する。なおこの熱処理では水素ガスの代わりに水蒸気もしくは水蒸気含有酸素ガスを雰囲気ガスとして用いることもできる。

[0078] <工程S52>

また、側壁SWの開口方向がC面側である場合、ゲート絶縁膜91が形成された後に、炭化珪素オフ基板101とゲート絶縁膜91との界面に窒素を導入する工程S52が実行されることが好ましい。

[0079] 具体的には、雰囲気ガスとして一酸化窒素（NO）ガスを用いた熱処理（以下「窒素アニール」とも記す）が行なわれることが好ましい。窒素アニー

ルの熱処理条件としては、たとえば熱処理温度を $1100^{\circ}\text{C}$ 以上 $1300^{\circ}\text{C}$ 以下、熱処理時間を1時間程度とする条件を用いることができる。これにより、炭化珪素オフ基板101とゲート絶縁膜91との界面に窒素を導入することができる。窒素が導入されることにより、Si面に近似した特性を有する側壁SWとゲート絶縁膜91との界面において、界面準位の形成が抑制され、半導体装置においてチャネル移動度が向上する。なおこの熱処理では、NOガスの代わりに $\text{N}_2$ と $\text{O}_2$ の混合ガス、 $\text{N}_2\text{O}$ ガス等を雰囲気ガスとして用いることもできる。

[0080] また、上記の水素アニールまたは窒素アニールの後に、不活性ガスを用いた熱処理が行なわれてもよい。たとえば、Arガス雰囲気下で熱処理（以下「Arアニール」とも記す）が行なわれてもよい。Arアニールの熱処理温度は、上記水素アニールまたは窒素アニールの熱処理温度よりも高く、ゲート絶縁膜91の融点よりも低いことが好ましい。熱処理時間は、たとえば1時間程度である。Arアニールを行なうことにより、界面準位の形成がさらに抑制される。

[0081] 以上の工程を経た後、図17に示すように、ゲート絶縁膜91上にゲート電極92が形成される。具体的には、トレンチTRの内部の領域をゲート絶縁膜91を介して埋めるように、ゲート絶縁膜91上にゲート電極92が形成される。ゲート電極92の形成は、たとえば導体またはポリドーパシリコンの成膜とCMP（Chemical Mechanical Polishing）によって行なうことができる。

[0082] 次に、図18を参照して、ゲート電極92の露出面を覆うように、ゲート電極92およびゲート絶縁膜91上に層間絶縁膜93が形成される。続いて、層間絶縁膜93およびゲート絶縁膜91に開口部が形成されるようにエッチングが行なわれる。この開口部によってn+層83およびpコンタクト領域84が露出される。そして、露出したn+層83およびpコンタクト領域84のそれぞれに接してソース電極94が形成される。さらに単結晶層80において、nドリフト層81が形成された主面側と反対側の裏面上にドレイ

ン電極 9 8 が形成される。

[0083] そして再び図 1 を参照して、ソース電極 9 4 上にソース配線層 9 5 が形成される。以上のようにして、トレンチ T R の互いに対向する第 1 の側壁 S W 1 および第 2 の側壁 S W 2 にほぼ等価な面が表出し、信頼性が高い炭化珪素半導体装置が製造される。また、この製造方法においては、トレンチ T R の配置が炭化珪素オフ基板 1 0 1 のオフ方向に依存しない。したがって設計上の自由度が高く、炭化珪素半導体装置を高集積化することができる。

[0084] 今回開示された実施形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと解されるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

## 符号の説明

[0085] 4 0, 6 1 マスク層、6 0 レジスト膜、8 0 単結晶層、8 1 n ドリフト層、8 2 p ボディ層、8 3 n + 層、8 4 p コンタクト領域、9 1 ゲート絶縁膜、9 2 ゲート電極、9 3 層間絶縁膜、9 4 ソース電極、9 5 ソース配線層、9 8 ドレイン電極、1 0 0 炭化珪素層、1 0 1 炭化珪素オフ基板、2 0 1 炭化珪素半導体装置、M P 主表面、T R, T Q トレンチ、S W 側壁、S W 1 第 1 の側壁、S W 2 第 2 の側壁、B T 底部、 $\theta$ ,  $\theta 1$ ,  $\theta 2$  角度、d 1, d 2 深さ。

## 請求の範囲

- [請求項1] 基底面に対するオフ角度を有する主表面を含む炭化珪素オフ基板を備え、
- 前記主表面には、トレンチが設けられ、
- 前記トレンチは、複数の側壁と底部とを有し、さらに、
- 前記側壁と前記底部とを覆うゲート絶縁膜と、
- 前記ゲート絶縁膜上に設けられたゲート電極と、を備え、
- 前記トレンチにおける前記側壁の前記基底面に対する角度が、 $65^{\circ}$ を超え $80^{\circ}$ 以下であり、
- 複数の前記側壁の開口方向が、シリコン面側またはカーボン面側のいずれかに揃っている、炭化珪素半導体装置。
- [請求項2] 前記炭化珪素オフ基板は、オフ方向が $\langle 11-20 \rangle$ 方向である、請求項1に記載の炭化珪素半導体装置。
- [請求項3] 前記炭化珪素オフ基板の前記オフ角度は、 $1^{\circ}$ 以上 $8^{\circ}$ 以下である、請求項1または請求項2に記載の炭化珪素半導体装置。
- [請求項4] 前記トレンチは、複数の前記側壁が連なることにより、平面視において閉じた形状を有しており、すべての前記側壁が前記ゲート絶縁膜に覆われている、請求項1～請求項3のいずれか1項に記載の炭化珪素半導体装置。
- [請求項5] 複数の前記側壁は互いに対向する第1の側壁および第2の側壁を含み、
- 前記第1の側壁の前記基底面に対する角度と、前記第2の側壁の前記基底面に対する角度との差異は、前記オフ角度以下である、請求項1～請求項4のいずれか1項に記載の炭化珪素半導体装置。
- [請求項6] 複数の前記側壁の開口方向が、すべてシリコン面側である、請求項1～請求項5のいずれか1項に記載の炭化珪素半導体装置。
- [請求項7] 前記炭化珪素オフ基板と前記ゲート絶縁膜との界面から $10\text{ nm}$ 以内の領域における水素濃度が、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上である、請求項

6に記載の炭化珪素半導体装置。

[請求項8] 複数の前記側壁の開口方向が、すべてカーボン面側である、請求項1～請求項5のいずれか1項に記載の炭化珪素半導体装置。

[請求項9] 前記炭化珪素オフ基板と前記ゲート絶縁膜との界面から10nm以内の領域における窒素濃度が、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上である、請求項8に記載の炭化珪素半導体装置。

[請求項10] 主表面を有する炭化珪素オフ基板を準備する工程と、  
前記主表面に対して、異方性のエッチングを行なうことにより、側壁と底部とを有するトレンチを形成する第1のエッチング工程と、  
前記側壁および前記底部に対して、等方性のエッチングを行なうことにより、前記側壁の基底面に対する角度を $65^\circ$ を超え $80^\circ$ 以下とする第2のエッチング工程と、を備える、炭化珪素半導体装置の製造方法。

[請求項11] 前記第1のエッチング工程により除去される前記炭化珪素オフ基板の除去深さが、前記第2のエッチング工程により除去される前記炭化珪素オフ基板の除去深さよりも深い、請求項10に記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。

[請求項12] 前記第1のエッチング工程は、前記側壁の前記基底面に対する角度が $80^\circ$ 以上となるように、前記主表面をエッチングする工程を含む、請求項10または請求項11に記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。

[請求項13] 前記側壁の開口方向は、シリコン面側であり、  
前記側壁と前記底部とを覆うゲート絶縁膜を形成する工程と、  
前記炭化珪素オフ基板と前記ゲート絶縁膜との界面に水素を導入する工程と、をさらに備える、請求項10～請求項12のいずれか1項に記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。

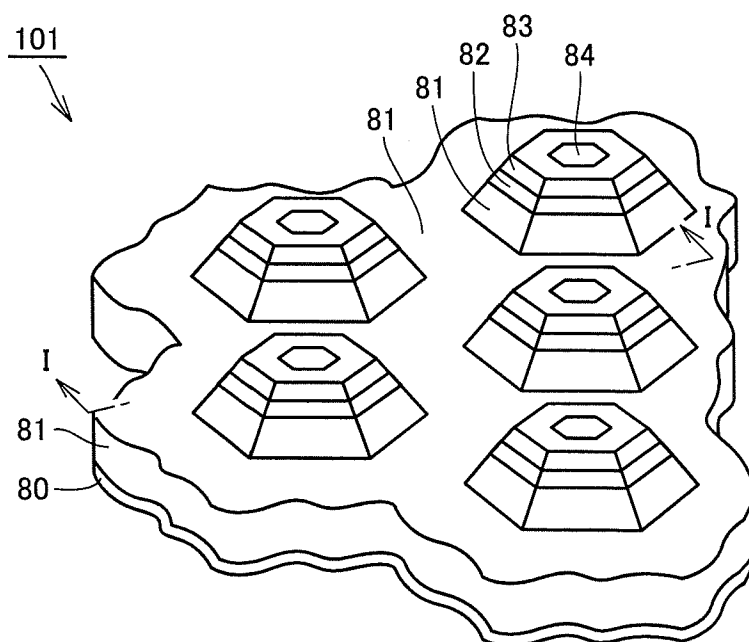
[請求項14] 前記側壁の開口方向は、カーボン面側であり、  
前記側壁と前記底部とを覆うゲート絶縁膜を形成する工程と、

前記炭化珪素オフ基板と前記ゲート絶縁膜との界面に窒素を導入する工程と、をさらに備える、請求項 10～請求項 12 のいずれか 1 項に記載の炭化珪素半導体装置の製造方法。

FIG.1

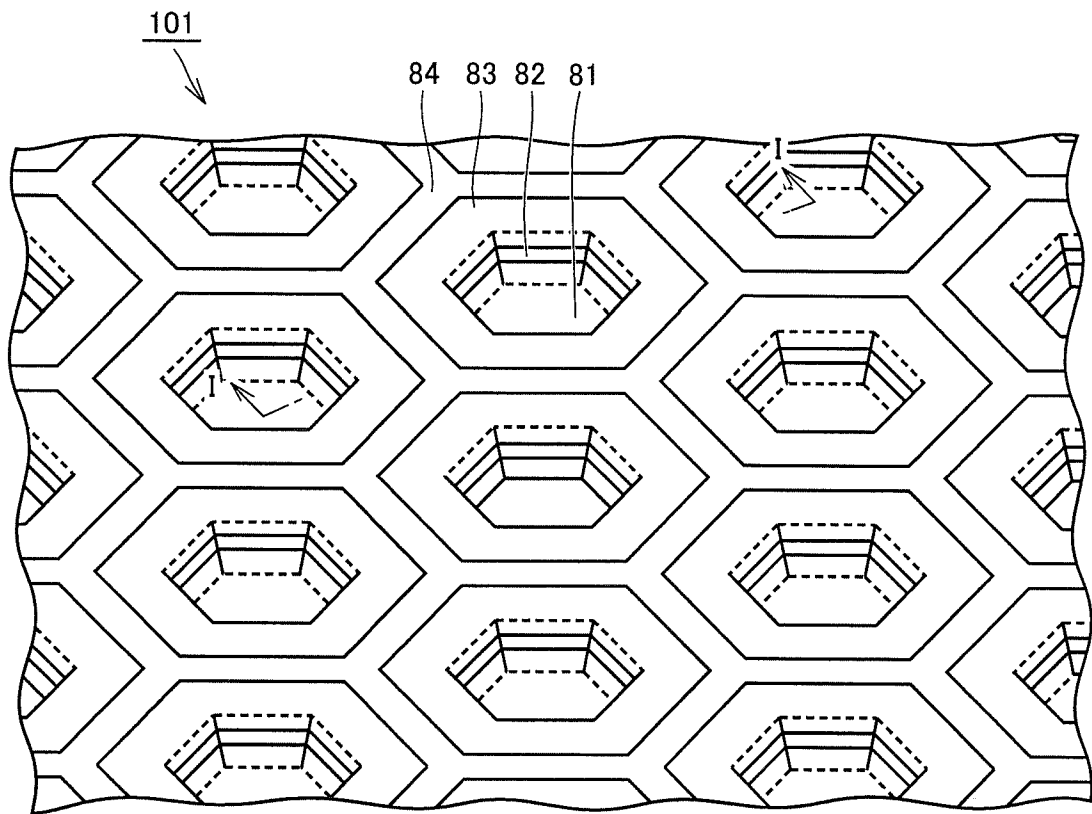


FIG.2



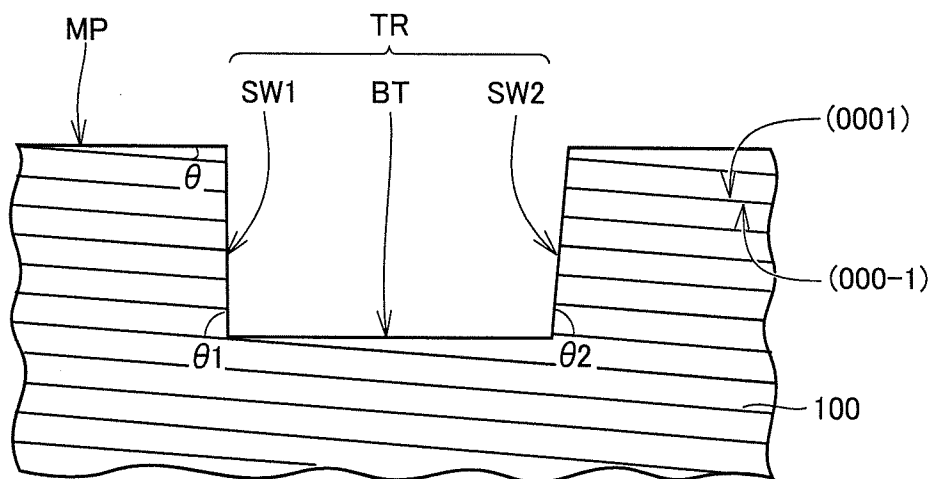
[図3]

FIG.3



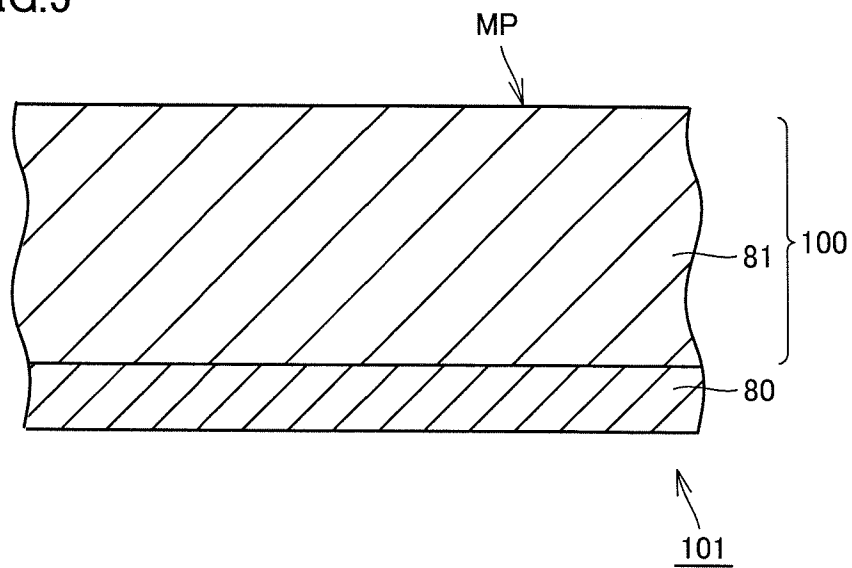
[図4]

FIG.4



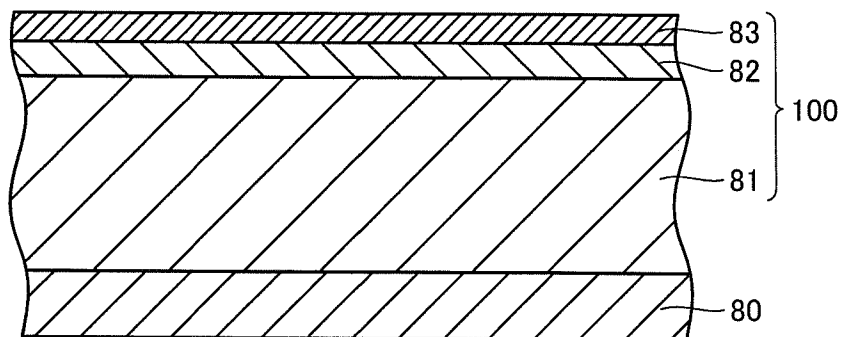
[図5]

FIG.5



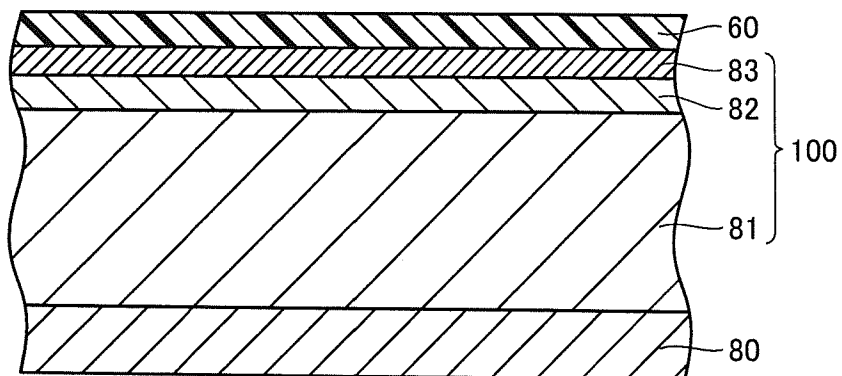
[図6]

FIG.6



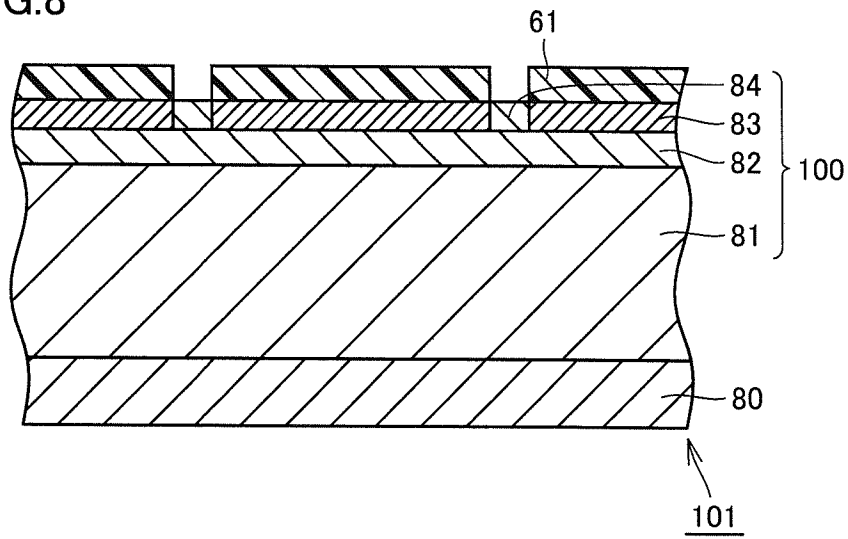
[図7]

FIG.7



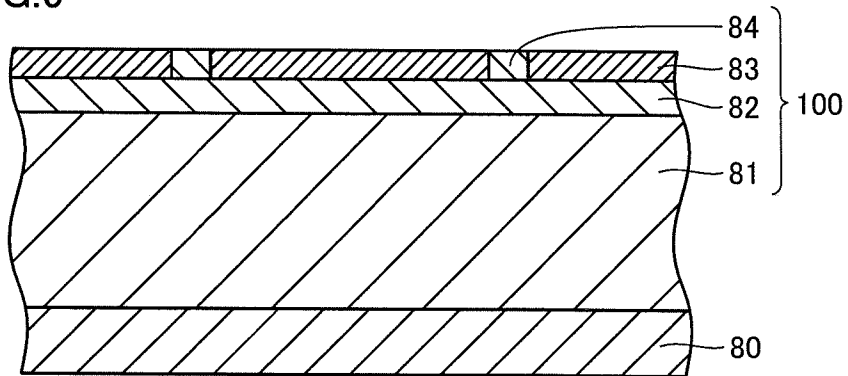
[図8]

FIG.8



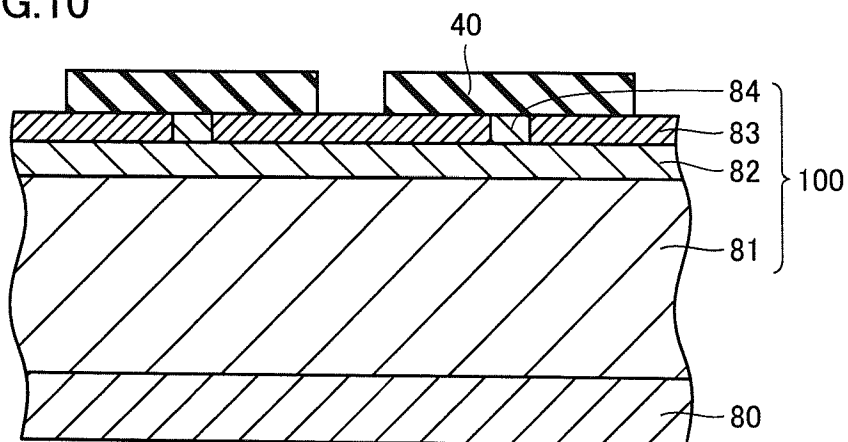
[図9]

FIG.9



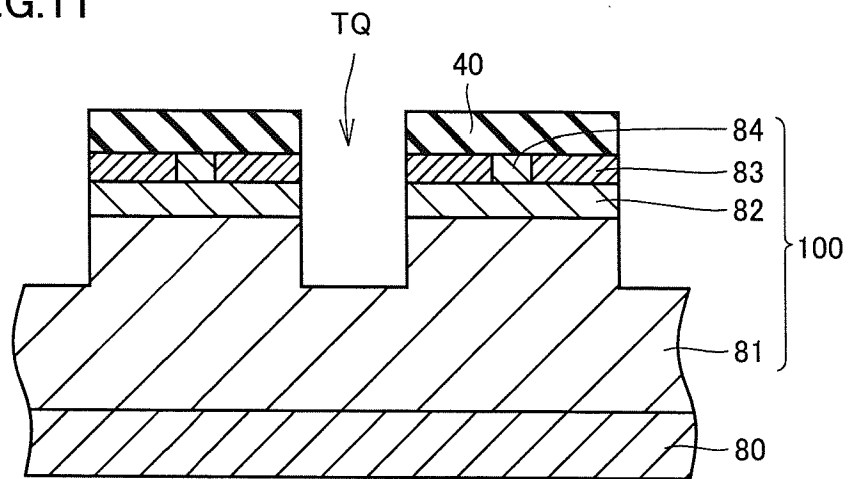
[図10]

FIG.10



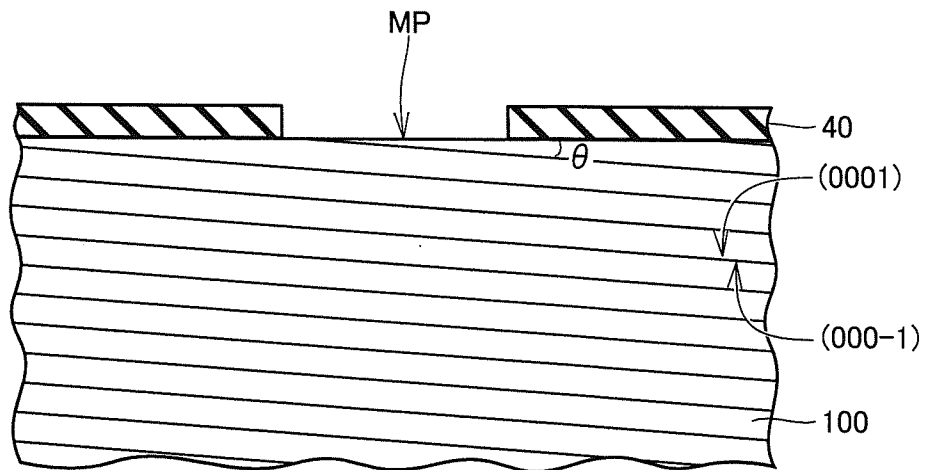
[図11]

FIG.11



[図12]

FIG.12



[図13]

FIG.13

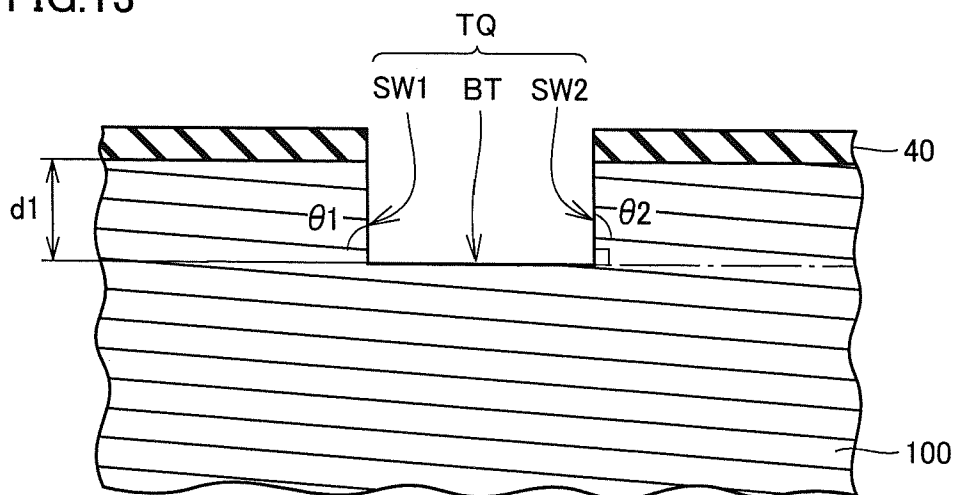


FIG.14

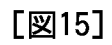


FIG.15



FIG.16

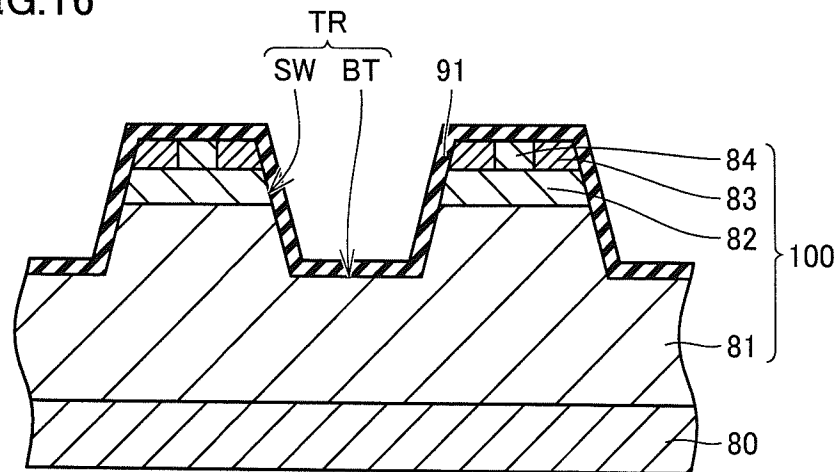


FIG.17

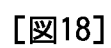
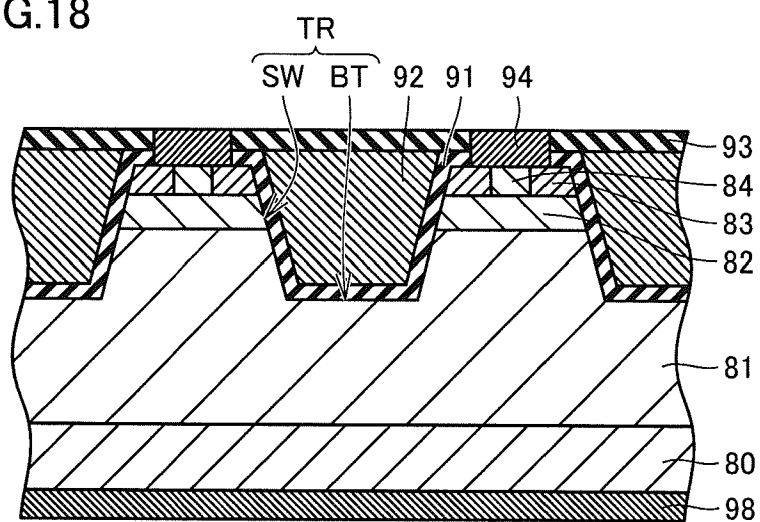
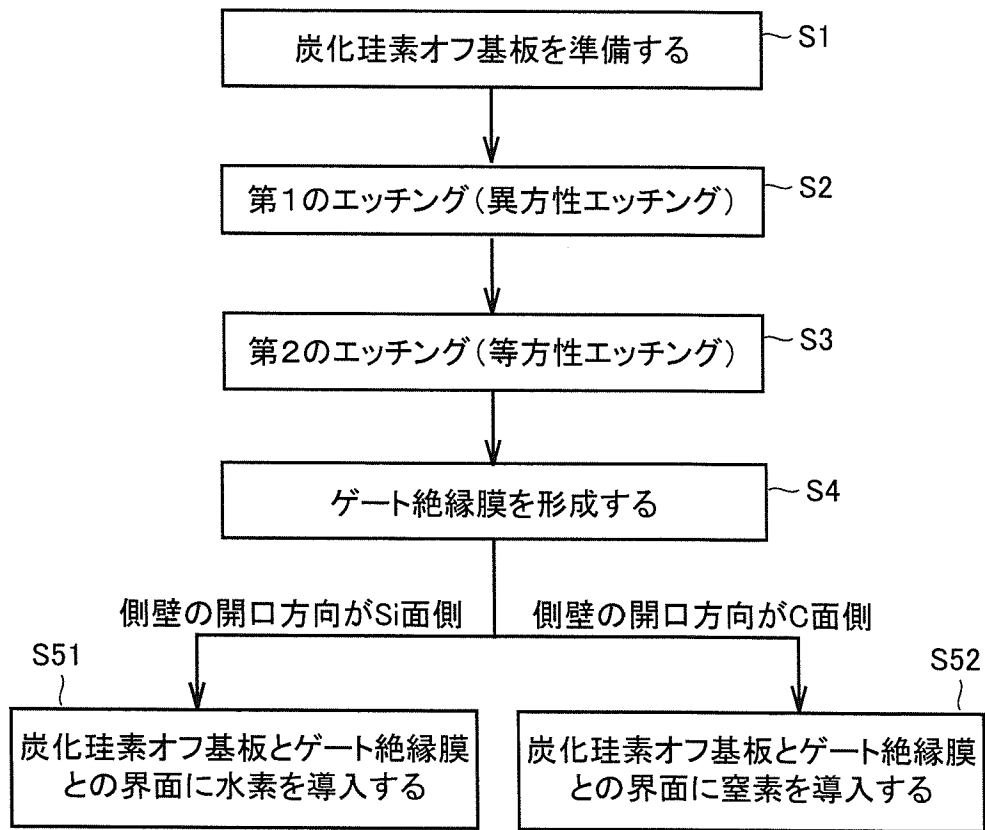


FIG.18



[図19]

FIG.19



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/068881

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/336(2006.01)i, H01L21/28(2006.01)i, H01L29/12(2006.01)i,  
H01L29/423(2006.01)i, H01L29/49(2006.01)i, H01L29/78(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)

H01L21/336, H01L21/28, H01L29/12, H01L29/423, H01L29/49, H01L29/78

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 | 1996-2014 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2014 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2014 |

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<br>Y<br>A | JP 2007-080971 A (Fuji Electric Holdings Co., Ltd.),<br>29 March 2007 (29.03.2007),<br>paragraphs [0023] to [0025], [0073], [0081],<br>[0097] to [0100], [0105], [0106], [0109],<br>[0110], [0132]; fig. 1, 5<br>& US 2007/0057262 A1 & DE 102006042282 A1                             | 1-4, 6, 8<br>7, 9-14<br>5 |
| Y           | JP 2009-158933 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.),<br>16 July 2009 (16.07.2009),<br>paragraphs [0005], [0020], [0028], [0045] to<br>[0047]; fig. 2, 14<br>& US 2011/0186862 A1 & EP 2357671 A1<br>& WO 2010/058610 A1 & KR 10-2011-0048070 A<br>& CN 102224594 A & TW 201021206 A1 | 7, 9, 13, 14              |

☒ 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  
22 September, 2014 (22.09.14)

Date of mailing of the international search report  
07 October, 2014 (07.10.14)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2014/068881

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                      | Relevant to claim No. |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | JP 2008-235546 A (Denso Corp.),<br>02 October 2008 (02.10.2008),<br>paragraph [0050]; fig. 3<br>& US 2008/0230787 A1 & DE 102008000660 A1                                               | 10-14                 |
| A         | WO 2013/038860 A1 (Sumitomo Electric<br>Industries, Ltd.),<br>21 March 2013 (21.03.2013),<br>paragraph [0029]; fig. 1, 2<br>& JP 2013-062392 A & US 2013/0062629 A1<br>& CN 103718298 A | 1-14                  |

## A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/336(2006.01)i, H01L21/28(2006.01)i, H01L29/12(2006.01)i, H01L29/423(2006.01)i, H01L29/49(2006.01)i, H01L29/78(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. H01L21/336, H01L21/28, H01L29/12, H01L29/423, H01L29/49, H01L29/78

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 4 年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1 9 9 6 - 2 0 1 4 年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1 9 9 4 - 2 0 1 4 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<br>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<br>請求項の番号            |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| X<br>Y<br>A     | JP 2007-080971 A (富士電機ホールディングス株式会社) 2007. 03. 29,<br>段落【0023】-【0025】,【0073】,【0081】,【0097】-【0100】,【0105】,【0106】,【0109】,【0110】,【0132】, 第 1, 5 図<br>& US 2007/0057262 A1 & DE 102006042282 A1                              | 1-4, 6, 8<br>7, 9-14<br>5 |
| Y               | JP 2009-158933 A (住友電気工業株式会社) 2009. 07. 16,<br>段落【0005】,【0020】,【0028】,【0045】-【0047】, 第 2, 14 図<br>& US 2011/0186862 A1 & EP 2357671 A1 & WO 2010/058610 A1<br>& KR 10-2011-0048070 A & CN 102224594 A & TW 201021206 A1 | 7, 9, 13, 14              |

☒ 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

2 2 . 0 9 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

0 7 . 1 0 . 2 0 1 4

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）

平野 崇

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

5 F

3 6 5 7

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                                                                                            |                |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号 |
| Y                     | JP 2008-235546 A (株式会社デンソー) 2008. 10. 02,<br>段落【0050】，第3図<br>& US 2008/0230787 A1 & DE 102008000660 A1                     | 10-14          |
| A                     | WO 2013/038860 A1 (住友電気工業株式会社) 2013. 03. 21,<br>段落[0029]，第1，2図<br>& JP 2013-062392 A & US 2013/0062629 A1 & CN 103718298 A | 1-14           |