

阪市北区中之島三丁目2番4号 中之島フェスティバルタワー・ウエスト 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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, 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, 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).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告(条約第21条(3))

as respectively corresponding to the third regions, and the sixth regions are provided as respectively corresponding to the fourth regions. The impurity concentration of the sixth regions is greater than the impurity concentration of the fifth regions by a factor equal to or less than 68 times the impurity concentration of the fifth regions.

(57) 要約: 活性領域は、第1スーパージャンクション層と、素子層とを含んでいる。第1スーパージャンクション層は、第1領域および第2領域を交互に有している。周辺領域は、第2スーパージャンクション層と、終端層と、絶縁層とを含んでいる。第2スーパージャンクション層は、第3領域および第4領域を交互に有している。終端層は、第2スーパージャンクション層の上に接して設けられ、第5領域および第6領域を交互に有している。第5領域は第3領域に対応して設けられるとともに、第6領域は第4領域に対応して設けられている。第6領域の不純物濃度は、第5領域の不純物濃度よりも大きく、かつ第5領域の不純物濃度の68倍以下である。

明 細 書

発明の名称：炭化珪素半導体装置

技術分野

[0001] 本開示は、炭化珪素半導体装置に関する。本出願は、2020年7月10日に出願した日本特許出願である特願2020-118900号に基づく優先権を主張する。当該日本特許出願に記載された全ての記載内容は、参照によって本明細書に援用される。

背景技術

[0002] 特開2006-73987号公報（特許文献1）および特開2003-273355号公報（特許文献2）にはシリコン半導体を主たる対象として、スーパージャンクション構造を有するMOSFET（Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor）が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2006-73987号公報
特許文献2：特開2003-273355号公報

発明の概要

[0004] 本開示に係る炭化珪素半導体装置は、基板と、活性領域と、周辺領域と、第1電極とを備えている。基板は、第1導電型の炭化珪素半導体よりなる。活性領域は、基板の第1主面の一部に設けられている。周辺領域は、基板上に設けられ、かつ平面視において活性領域を取り囲んでいる。第1電極は、基板の第1主面に対向する第2主面に設けられている。活性領域は、第1スーパージャンクション層と、素子層と、第2電極とを含んでいる。第1スーパージャンクション層は、基板の上方に設けられ、第1導電型の第1領域および第2導電型の第2領域を交互に有している。素子層は、第1スーパージャンクション層の上方に設けられている。第2電極は、素子層の上に設けら

れている。周辺領域は、第2 スーパージャンクション層と、終端層と、絶縁層とを含んでいる。第2 スーパージャンクション層は、基板の上方に設けられ、第1 導電型の第3 領域および第2 導電型の第4 領域を交互に有している。終端層は、第2 スーパージャンクション層の上に接して設けられ、第2 導電型の第5 領域および第2 導電型の第6 領域を交互に有している。絶縁層は、第5 領域の上端面および第6 領域の上端面の各々に接している。第5 領域は第3 領域に対応して設けられるとともに、第6 領域は第4 領域に対応して設けられている。第6 領域の不純物濃度は、第5 領域の不純物濃度よりも大きく、かつ第5 領域の不純物濃度の6 8 倍以下である。

図面の簡単な説明

[0005] [図1] 図1 は、第1 実施形態に係る炭化珪素半導体装置の構成を示す縦断面模式図である。

[図2] 図2 は、第2 実施形態に係る炭化珪素半導体装置の構成を示す一部横断面模式図である。

[図3] 図3 は、図2 のⅠⅠⅠーⅠⅠⅠ線に沿った縦断面模式図である。

[図4] 図4 は、図2 のⅠⅤーⅠⅤ線に沿った縦断面模式図である。

[図5] 図5 は、第3 実施形態に係る炭化珪素半導体装置の構成を示す縦断面模式図である。

[図6] 図6 は、第4 実施形態に係る炭化珪素半導体装置の構成を示す一部横断面模式図である。

[図7] 図7 は、図6 のⅤⅠⅠーⅤⅠⅠ線に沿った縦断面模式図である。

[図8] 図8 は、図6 のⅤⅠⅠⅠーⅤⅠⅠⅠ線に沿った縦断面模式図である。

[図9] 図9 は、第5 実施形態に係る炭化珪素半導体装置の構成を示す縦断面模式図である。

[図10] 図10 は、第6 実施形態に係る炭化珪素半導体装置の構成を示す縦断面模式図である。

[図11] 図11 は、耐圧シミュレーション結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0006] [本開示が解決しようとする課題]

本開示の目的は、信頼性を向上可能な炭化珪素半導体装置を提供することである。

[本開示の効果]

本開示によれば、信頼性を向上可能な炭化珪素半導体装置を提供することができる。

[本開示の実施形態の説明]

最初に本開示の実施形態を列挙して説明する。本明細書の結晶学的記載においては、個別方位を $[\]$ 、集合方位を $\langle \rangle$ 、個別面を $(\)$ 、集合面を $\{ \}$ でそれぞれ示す。結晶学上の指数が負であることは、通常、数字の上に “ $-$ ” (バー) を付すことによって表現されるが、本明細書では数字の前に負の符号を付すことによって結晶学上の負の指数を表現する。

[0007] (1) 本開示に係る炭化珪素半導体装置 100 は、基板 90 と、活性領域 1R と、周辺領域 0R と、第 1 電極 61 とを備えている。基板 90 は、第 1 導電型の炭化珪素半導体よりなる。活性領域 1R は、基板 90 の第 1 主面 1 の一部に設けられている。周辺領域 0R は、基板 90 上に設けられ、かつ平面視において活性領域 1R を取り囲んでいる。第 1 電極 61 は、基板 90 の第 1 主面 1 に対向する第 2 主面 2 に設けられている。活性領域 1R は、第 1 スーパージャンクション層 10 と、素子層 40 と、第 2 電極 62 とを含んでいる。第 1 スーパージャンクション層 10 は、基板 90 の上方に設けられ、第 1 導電型の第 1 領域 41 および第 2 導電型の第 2 領域 42 を交互に有している。素子層 40 は、第 1 スーパージャンクション層 10 の上方に設けられている。第 2 電極 62 は、素子層 40 の上に設けられている。周辺領域 0R は、第 2 スーパージャンクション層 20 と、終端層 50 と、絶縁層 7 とを含んでいる。第 2 スーパージャンクション層 20 は、基板 90 の上方に設けられ、第 1 導電型の第 3 領域 43 および第 2 導電型の第 4 領域 44 を交互に有している。終端層 50 は、第 2 スーパージャンクション層 20 の上に接して設けられ、第 2 導電型の第 5 領域 45 および第 2 導電型の第 6 領域 46 を交

互に有している。絶縁層 7 は、第 5 領域 4 5 の上端面および第 6 領域 4 6 の上端面の各々に接している。第 5 領域 4 5 は第 3 領域 4 3 に対応して設けられるとともに、第 6 領域 4 6 は第 4 領域 4 4 に対応して設けられている。第 6 領域 4 6 の不純物濃度は、第 5 領域 4 5 の不純物濃度よりも大きく、かつ第 5 領域 4 5 の不純物濃度の 6 8 倍以下である。

[0008] (2) 上記 (1) に係る炭化珪素半導体装置 1 0 0 において、第 6 領域 4 6 の不純物濃度は、第 4 領域 4 4 の不純物濃度よりも大きくてもよい。

[0009] (3) 上記 (1) または (2) に係る炭化珪素半導体装置 1 0 0 において、第 5 領域 4 5 の不純物濃度と第 6 領域 4 6 の不純物濃度の差分の絶対値は、第 3 領域 4 3 の不純物濃度と第 4 領域 4 4 の不純物濃度の和と実質的に等しくてもよい。

[0010] (4) 上記 (1) から (3) のいずれかに係る炭化珪素半導体装置 1 0 0 において、素子層 4 0 の上端面と、素子層 4 0 と第 1 スーパージャンクション層 1 0 の境界面との第 1 距離 D 1 は、終端層 5 0 の上端面と、終端層 5 0 と第 2 スーパージャンクション層 2 0 の境界面との第 2 距離 D 2 より大きくてもよい。

[0011] (5) 上記 (1) から (4) のいずれかに係る炭化珪素半導体装置 1 0 0 において、第 1 領域 4 1 および第 3 領域 4 3 の各々は、第 1 部分 7 1 と、第 1 部分 7 1 と基板 9 0 との間に位置する第 2 部分 7 2 とを有していてもよい。第 2 領域 4 2 および第 4 領域 4 4 の各々は、第 1 部分 7 1 に接する第 3 部分 7 3 と、第 2 部分 7 2 に接しかつ第 3 部分 7 3 と基板 9 0 との間に位置する第 4 部分 7 4 とを有していてもよい。第 2 主面 2 に垂直であって、かつ第 1 領域 4 1 から第 2 領域 4 2 に向かう方向に平行な断面において、第 2 部分 7 2 の幅は、第 1 部分 7 1 の幅よりも大きく、第 4 部分 7 4 の幅は、第 3 部分 7 3 の幅よりも小さく、第 1 部分 7 1 の幅は、第 1 部分 7 1 の高さよりも小さく、第 3 部分 7 3 の幅は、第 3 部分 7 3 の高さよりも小さくてもよい。第 1 部分 7 1 および第 3 部分 7 3 の各々の不純物濃度は、第 2 部分 7 2 および第 4 部分 7 4 の各々の不純物濃度よりも大きくてもよい。

[0012] (6) 上記(1)から(5)のいずれかに係る炭化珪素半導体装置100において、第1領域41および第3領域43の各々の不純物濃度は、 $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよい。第2領域42および第4領域44の各々の不純物濃度は、 $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよい。

[0013] (7) 上記(1)から(6)のいずれかに係る炭化珪素半導体装置100において、第1スーパージャンクション層10と基板90との間には、第1導電型の第1バッファ層12が設けられていてもよい。第2スーパージャンクション層20と基板90との間には、第1導電型の第2バッファ層52が設けられていてもよい。

[0014] (8) 上記(1)から(7)のいずれかに係る炭化珪素半導体装置100において、素子層40は、第1導電型の第1不純物領域14と、第1不純物領域14に接しかつ第2導電型を有する第2不純物領域23と、第2不純物領域23によって第1不純物領域14から隔てられかつ第1導電型を有する第3不純物領域30とを含んでいてもよい。素子層40には、第1不純物領域14、第2不純物領域23および第3不純物領域30の各々により構成された側面8と、側面8に連なりかつ第1不純物領域14により構成された底部9とを有するトレンチ5が設けられていてもよい。第1電極61はソース電極であってもよい。第2電極62はドレイン電極であってもよい。トレンチ5の内部には、ゲート電極63が設けられていてもよい。

[0015] (9) 上記(1)から(8)のいずれかに係る炭化珪素半導体装置100において、第1主面1は、 $\{0001\}$ 面または $\{000\bar{1}\}$ 面に対して 8° 以下の角度で傾斜した面であってもよい。

[本開示の実施形態の詳細]

以下、本開示の実施形態の詳細について説明する。以下の説明では、同一または対応する要素には同一の符号を付し、それらについて同じ説明は繰り返さない。

[0016] (第1実施形態)

まず、第1実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成について説明する。図1は、第1実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成を示す縦断面模式図である。

[0017] 図1に示されるように、第1実施形態に係る炭化珪素半導体装置100は、平面型MOSFETである。第1実施形態に係る炭化珪素半導体装置100は、たとえば、基板90と、活性領域1Rと、周辺領域ORと、第1電極61とを主に有している。基板90は、第1導電型の炭化珪素半導体よりなる。第1導電型は、たとえば、n型である。基板90は、たとえばN（窒素）などのn型を付与可能なn型不純物を含んでいる。基板90は、第1主面1と、第2主面2とを有している。第2主面2は、第1主面1に対向している。第2主面2は、第1主面1の反対側の面である。

[0018] 基板90は、たとえばポリタイプ4Hの六方晶炭化珪素から構成されている。第1主面1は、たとえば、 $\{0001\}$ 面または $\{000\bar{1}\}$ 面に対して 8° 以下の角度で傾斜した面であってもよい。具体的には、第1主面1は、 (0001) 面または $(000\bar{1})$ 面に対して 8° 以下の角度で傾斜した面であってもよい。第1主面1は、 $(000-1)$ 面または $(000-1)$ 面に対して 8° 以下の角度で傾斜した面であってもよい。基板90は、第1基板部11と、第2基板部51とを有している。

[0019] 活性領域1Rは、基板90の第1主面1の一部に設けられている。第1主面1は、第1区域91と、第2区域92とを有している。活性領域1Rは、第1区域91上にある。活性領域1Rは、第1バッファ層12と、第1スーパージャンクション層10と、素子層40と、第2電極62と、ゲート電極63と、ゲート絶縁膜6と、分離絶縁膜64とを主に含んでいる。第1バッファ層12は、第1スーパージャンクション層10と基板90との間に位置している。第1バッファ層12は、たとえば、n型（第1導電型）を有している。第1バッファ層12は、たとえばN（窒素）などのn型を付与可能なn型不純物を含んでいる。第1バッファ層12は、第1区域91に接している。

[0020] 第1スーパージャンクション層10は、基板90の上方に設けられている。第1スーパージャンクション層10は、たとえば、第1バッファ層12に接している。第1スーパージャンクション層10は、第1領域41および第2領域42を交互に有している。第1領域41および第2領域42は、たとえば、第1主面1に平行な方向に沿って交互に配置されている。別の観点から言えば、第1領域41および第2領域42は、たとえば、基板90の厚み方向に交差する方向に沿って交互に配置されている。

[0021] 第1領域41は、n型（第1導電型）を有している。第1領域41は、たとえばN（窒素）などのn型を付与可能なn型不純物を含んでいる。第2領域42は、p型（第2導電型）を有している。第2領域42は、たとえばAl（アルミニウム）などのp型を付与可能なp型不純物を含んでいる。

[0022] 素子層40は、第1スーパージャンクション層10の上方に設けられている。素子層40は、たとえば、スイッチング素子部である。素子層40は、たとえば、第1不純物領域14と、第2不純物領域23と、第3不純物領域30と、第4不純物領域24とを有している。第1不純物領域14は、たとえば、ドリフト領域である。第1不純物領域14は、n型（第1導電型）を有している。第1不純物領域14は、たとえばN（窒素）などのn型を付与可能なn型不純物を含んでいる。第1不純物領域14は、第1領域41に接している。

[0023] 第2不純物領域23は、たとえば、ボディ領域である。第2不純物領域23は、第1不純物領域14に接している。第2不純物領域23は、p型（第2導電型）を有している。第2不純物領域23は、たとえばAl（アルミニウム）などのp型を付与可能なp型不純物を含んでいる。第2不純物領域23は、第1領域41および第2領域42に接している。第2不純物領域23が含むp型不純物の濃度は、第1不純物領域14が含むn型不純物の濃度よりも高くてもよい。

[0024] 第3不純物領域30は、たとえば、ソース領域である。第3不純物領域30は、第2不純物領域23によって第1不純物領域14から隔てられている。

。第3不純物領域30は、n型（第1導電型）を有している。第3不純物領域30は、たとえばP（リン）などのn型を付与可能なn型不純物を含んでいる。第3不純物領域30が含むn型不純物の濃度は、第2不純物領域23が含むp型不純物の濃度よりも高くてもよい。

[0025] 第4不純物領域24は、たとえば、コンタクト領域である。第4不純物領域24は、第2不純物領域23および第3不純物領域30に接している。第4不純物領域24は、p型（第2導電型）を有している。第4不純物領域24は、たとえばAl（アルミニウム）などのp型を付与可能なp型不純物を含んでいる。第4不純物領域24が含むp型不純物の濃度は、第2不純物領域23が含むp型不純物の濃度よりも高くてもよい。

[0026] ゲート絶縁膜6は、素子層40上に設けられている。ゲート絶縁膜6は、たとえば二酸化珪素から構成されている。ゲート絶縁膜6は、たとえば、第1不純物領域14、第2不純物領域23および第3不純物領域30の各々に接している。ゲート絶縁膜6に接する第2不純物領域23においては、チャネルが形成可能である。

[0027] ゲート電極63は、ゲート絶縁膜6上に設けられている。ゲート電極63は、ゲート絶縁膜6に接している。ゲート電極63は、たとえば不純物がドーピングされたポリシリコンなどの導電体から構成されている。

[0028] 第2電極62は、たとえばソース電極である。第2電極62は、素子層40の上に設けられている。第2電極62は、第3不純物領域30および第4不純物領域24に接している。第2電極62は、分離絶縁膜64を覆っていてもよい。

[0029] 分離絶縁膜64は、ゲート電極63を覆うように設けられている。分離絶縁膜64は、ゲート電極63およびゲート絶縁膜6の各々に接している。分離絶縁膜64は、たとえばNSG（None-doped Silicate Glass）膜またはPSG（Phosphorus Silicate Glass）膜などにより構成されている。分離絶縁膜64は、ゲート電極63と第2電極62とを電氣的に絶縁している。

- [0030] 第1電極61は、たとえば、ドレイン電極である。第1電極61は、基板90の第2主面2に設けられている。第2主面2は、第3区域93と、第4区域94とを有している。第3区域93は、第1区域91の反対側にある。第4区域94は、第2区域92の反対側にある。第1電極61は、第3区域93および第4区域94の各々に接している。
- [0031] 周辺領域ORは、基板90上に設けられている。周辺領域ORは、第1主面1の第2区域92上にある。周辺領域ORは、平面視において活性領域IRを取り囲んでいる。平面視は、第1主面1に垂直な方向に、炭化珪素半導体装置100を見る視野である。周辺領域ORは、第2バッファ層52と、第2スーパージャンクション層20と、終端層50と、絶縁層7とを主に含んでいる。
- [0032] 第2バッファ層52は、第2スーパージャンクション層20と基板90との間に位置している。第2バッファ層52は、たとえば、n型（第1導電型）を有している。第2バッファ層52は、たとえばN（窒素）などのn型を付与可能なn型不純物を含んでいる。第2バッファ層52は、第1主面1の第2区域92に接している。第2バッファ層52は、第1バッファ層12と電氣的に接続されている。
- [0033] 第2スーパージャンクション層20は、基板90の上方に設けられている。第2スーパージャンクション層20は、たとえば、第2バッファ層52に接している。第2スーパージャンクション層20は、第3領域43および第4領域44を交互に有している。第3領域43および第4領域44は、たとえば、第1主面1に平行な方向に沿って交互に配置されている。別の観点から言えば、第3領域43および第4領域44は、たとえば、基板90の厚み方向に交差する方向に沿って交互に配置されている。第3領域43および第4領域44の配列方向は、第1領域41および第2領域42の配列方向と同じである。
- [0034] 第3領域43は、n型（第1導電型）を有している。第3領域43は、たとえばN（窒素）などのn型を付与可能なn型不純物を含んでいる。第4領

域44は、p型（第2導電型）を有している。第4領域44は、たとえばAl（アルミニウム）などのp型を付与可能なp型不純物を含んでいる。

[0035] 終端層50は、第2スーパージャンクション層20の上に接して設けられている。終端層50は、第5領域45および第6領域46を交互に有している。第5領域45は第3領域43に対応して設けられるとともに、第6領域46は第4領域44に対応して設けられている。第5領域45は、第3領域43に接している。第6領域46は、第4領域44に接している。第5領域45および第6領域46は、たとえば、第1主面1に平行な方向に沿って交互に配置されている。別の観点から言えば、第5領域45および第6領域46は、たとえば、基板90の厚み方向に交差する方向に沿って交互に配置されている。

[0036] 第5領域45および第6領域46の各々は、p型（第2導電型）を有している。第5領域45および第6領域46の各々は、たとえばAl（アルミニウム）などのp型を付与可能なp型不純物を含んでいる。第6領域46の不純物濃度は、第5領域45の不純物濃度よりも大きく、かつ第5領域45の不純物濃度の68倍以下である。第6領域46の不純物濃度の下限は、特に限定されないが、たとえば、第5領域45の不純物濃度の1.09倍以上であってもよいし、1.58倍以上であってもよい。第6領域46の不純物領域の上限は、特に限定されないが、たとえば、第5領域45の不純物濃度の20倍以下であってもよいし、33.3倍以下であってもよいし、55倍以下であってもよい。

[0037] 第5領域45は、たとえば、第3領域43に対してp型不純物を注入することにより形成される。同様に、第6領域46は、たとえば、第4領域44に対してp型不純物を注入することにより形成される。この場合、第6領域46の不純物濃度は、第4領域44の不純物濃度よりも大きい。第5領域45の不純物濃度と第6領域46の不純物濃度の差分の絶対値は、第3領域43の不純物濃度と第4領域44の不純物濃度の和と実質的に等しくてもよい。具体的には、第5領域45の不純物濃度と第6領域46の不純物濃度の差

分の絶対値を、第3領域43の不純物濃度と第4領域44の不純物濃度の和で除した値は、例えば0.8以上1.2以下である。

[0038] 第1領域41の不純物濃度は、第3領域43の不純物濃度と実質的に同じである。第1領域41および第3領域43の各々の不純物濃度は、たとえば、 $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。第1領域41および第3領域43の各々の不純物濃度の下限は、特に限定されないが、たとえば、 $4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上であってもよいし、 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上であってもよい。第1領域41および第3領域43の各々の不純物濃度の上限は、特に限定されないが、たとえば、 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよいし、 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよい。

[0039] 第2領域42の不純物濃度は、第4領域44の不純物濃度と実質的に同じである。第2領域42および第4領域44の各々の不純物濃度は、たとえば、 $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよい。第2領域42および第4領域44の各々の不純物濃度の下限は、特に限定されないが、たとえば、 $4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上であってもよいし、 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上であってもよい。第2領域42および第4領域44の各々の不純物濃度の上限は、特に限定されないが、たとえば、 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよいし、 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよい。

[0040] 絶縁層7は、終端層50上に設けられている。終端層50は、第3主面3を有している。第3主面3は、絶縁層7に接している。第3主面3は、第1上端面3aと、第2上端面3bとを有している。絶縁層7は、第5領域45の上端面（第1上端面3a）および第6領域46の上端面（第2上端面3b）の各々に接している。第5領域45は、第3領域43と絶縁層7との間に位置している。第6領域46は、第4領域44と絶縁層7との間に位置している。絶縁層7は、たとえば、LTO（Low Temperature Oxide）膜、HTO（High Temperature Oxide）膜、NSG膜またはPSG膜などの酸化膜により構成されている。絶縁層7の下地に熱酸化膜が形成されていてもよい。

[0041] 図1に示されるように、素子層40の上端面（第4主面4）と、素子層40と第1スーパージャンクション層10の境界面（第1境界面81）との第1距離D1は、終端層50の上端面（第3主面3）と、終端層50と第2スーパージャンクション層20の境界面（第2境界面82）との第2距離D2より大きい。第1距離D1から第2距離D2を差し引いた値は、 $0.5\mu\text{m}$ 以上であってもよいし、 $1\mu\text{m}$ 以上であってもよい。第2スーパージャンクション層20の厚み（第4厚みT4）は、第1スーパージャンクション層10の厚み（第3厚みT3）よりも大きい。

[0042] （第2実施形態）

次に、第2実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成について説明する。第2実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成は、周辺領域ORが複数の周辺領域部を有する点において、主に、第1実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成と異なり、その他の点については、第1実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成と同様である。以下、第1実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成と異なる構成を中心に説明する。

[0043] 図2は、第2実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成を示す一部横断面模式図である。図2に示されるように、平面視において、周辺領域ORは、活性領域IRを取り囲んでいる。周辺領域ORは、第1周辺領域部OR1と、第2周辺領域部OR2と、第3周辺領域部OR3とを有している。平面視において、第1周辺領域部OR1は、活性領域IRを取り囲んでいる。第1周辺領域部OR1は、活性領域IRに連なっている。平面視において、第2周辺領域部OR2は、第1周辺領域部OR1を取り囲んでいる。第2周辺領域部OR2は、第1周辺領域部OR1に連なっている。

[0044] 炭化珪素半導体装置100は、第1スーパージャンクション層10と、第2スーパージャンクション層20とを有している。第1スーパージャンクション層10は、第1領域41と、第2領域42とを有している。第1領域41と第2領域42とは、第1方向101に沿って交互に配置されている。平

面視において、第1領域4 1および第2領域4 2の各々の長手方向は、第2方向1 0 2である。平面視において、第1領域4 1および第2領域4 2の各々の短手方向は、第1方向1 0 1である。

[0045] 第1方向1 0 1および第2方向1 0 2の各々は、第1主面1に平行である。第1方向1 0 1は、第2方向1 0 2に対して垂直な方向である。第1方向1 0 1は、たとえば $\langle 1-100 \rangle$ 方向である。第2方向1 0 2は、たとえば $\langle 11-20 \rangle$ 方向である。第1方向1 0 1は、たとえば $\langle 1-100 \rangle$ 方向を第1主面1に射影した方向であってもよい。第2方向1 0 2は、たとえば $\langle 11-20 \rangle$ 方向を第1主面1に射影した方向であってもよい。

[0046] 第2スーパージャンクション層2 0は、第3領域4 3と、第4領域4 4とを有している。第3領域4 3と第4領域4 4とは、第1方向1 0 1に沿って交互に配置されている。平面視において、第3領域4 3および第4領域4 4の各々の長手方向は、第2方向1 0 2である。平面視において、第3領域4 3および第4領域4 4の各々の短手方向は、第1方向1 0 1である。

[0047] 平面視において、第3周辺領域部OR 3は、第2周辺領域部OR 2を取り囲んでいる。第3周辺領域部OR 3は、第2周辺領域部OR 2に連なっている。第3周辺領域部OR 3は、たとえば、チャンネルストッパ6 6を有している。平面視において、チャンネルストッパ6 6は、第2周辺領域部OR 2を取り囲んでいる。チャンネルストッパ6 6は、たとえば、n型（第1導電型）を有している。チャンネルストッパ6 6の不純物濃度は、たとえば、第1領域4 1および第3領域4 3の各々の不純物濃度よりも大きい。

[0048] 図2に示されるように、チャンネルストッパ6 6は、第1方向1 0 1に沿って延在する第1チャンネルストッパ領域6 6 aと、第2方向1 0 2に沿って延在する第2チャンネルストッパ領域6 6 bとを有している。第2チャンネルストッパ領域6 6 bは、第3領域4 3に沿って設けられていてもよい。第1チャンネルストッパ領域6 6 aは、第3領域4 3と第4領域4 4とを横断していてもよい。第1チャンネルストッパ領域6 6 aは、第1領域4 1と第2領域4 2とを横断していてもよい。

[0049] 図3は、図2のⅠⅠⅠーⅠⅠⅠ線に沿った縦断面模式図である。図3に示されるように、第1周辺領域部OR1は、第1終端層56を有している。第1終端層56は、第5領域45と、第6領域46とを有している。第2周辺領域部OR2は、第2終端層55を有している。第2終端層55は、第7領域47と、第8領域48とを有している。第7領域47は第3領域43に対応するとともに、第8領域48は第4領域44に対応する。第7領域47は、第3領域43に接している。第8領域48は、第4領域44に接している。絶縁層7は、たとえば、第1終端層56と、第2終端層55と、チャンネルストッパ66と接している。

[0050] 第2終端層55の不純物濃度は、第1終端層56の不純物濃度よりも小さくてもよい。具体的には、第7領域47の不純物濃度は、第5領域45の不純物濃度よりも小さくてもよい。同様に、第8領域48の不純物濃度は、第6領域46の不純物濃度よりも小さくてもよい。上記においては、2つの終端層を有する2段JTE (Junction Termination Extension) について説明したが、3つの終端層を有する3段JTEが採用されてもよい。

[0051] 図3に示されるように、第1領域41と第2領域42とを横断する断面において、第3方向103における第1領域41の高さは、第1方向101における第1領域41の幅よりも大きくてもよい。同様に、第1領域41と第2領域42とを横断する断面において、第3方向103における第2領域42の高さは、第1方向101における第2領域42の幅よりも大きくてもよい。第3方向103は、第1方向101および第2方向102の各々に垂直な方向である。第3方向103は、たとえば<0001>方向である。第3方向103は、たとえば<0001>方向に対して傾斜した方向であってもよい。

[0052] 図3に示されるように、第3領域43と第4領域44とを横断する断面において、第3方向103における第3領域43の高さは、第1方向101における第3領域43の幅よりも大きくてもよい。同様に、第3領域43と第

4領域44とを横断する断面において、第3方向103における第4領域44の高さは、第1方向101における第4領域44の幅よりも大きくてもよい。

[0053] 第1領域41と第3領域43とを横断する断面において、第3方向103における第3領域43の高さは、第3方向103における第1領域41の高さよりも大きくてもよい。同様に、第2領域42と第4領域44とを横断する断面において、第3方向103における第4領域44の高さは、第3方向103における第2領域42の高さよりも大きくてもよい。

[0054] 図3に示されるように、断面視において、ゲート電極63は、第1方向101に沿って複数配置されていてもよい。同様に、第1不純物領域14、第2不純物領域23、第3不純物領域30および第4不純物領域24の各々は、第1方向101に沿って複数配置されていてもよい。第4不純物領域24は、第3不純物領域30を貫通し、第1領域41に接していてもよい。

[0055] 図4は、図2のI-V-I-V線に沿った縦断面模式図である。図4に示されるように、周辺領域ORは、複数のJTE領域を有している。第1周辺領域部OR1は、第1JTE領域53を有している。第2周辺領域部OR2は、第2JTE領域54を有している。第2JTE領域54は、第1JTE領域53に連なっている。第1JTE領域53および第2JTE領域54の各々は、たとえば、p型を有している。第2JTE領域54の不純物濃度は、たとえば、第1JTE領域53の不純物濃度よりも小さい。第2JTE領域54の不純物濃度を第1JTE領域53の不純物濃度で除した値は、たとえば0.5である。

[0056] 図4に示されるように、第1領域41は、第2方向102に沿って周辺領域ORに延在していてもよい。周辺領域ORにおいて、第1領域41は、第1JTE領域53と、第2JTE領域54と、チャンネルストッパ66と接していてもよい。なお、本実施形態においては、周辺領域ORが2つのJTE領域を有する場合について説明したが、JTE領域の数は2つに限定されない。周辺領域ORは、たとえば、3つ以上のJTE領域を有していてもよい。

。この場合、JTE領域の不純物濃度は、活性領域IRから見て外側に向かうにつれて小さくなってもよい。

[0057] (第3実施形態)

次に、第3実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成について説明する。第3実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成は、活性領域IRがトレンチ型MOSFETである点において、主に、第1実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成と異なっており、その他の点については、第1実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成と同様である。以下、第1実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成と異なる構成を中心に説明する。

[0058] 図5は、第3実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成を示す縦断面模式図である。図5に示されるように、素子層40にはトレンチ5が設けられている。トレンチ5の形状は、たとえばV型である。トレンチ5は、側面8と、底部9とにより規定されている。側面8は、第1不純物領域14、第2不純物領域23および第3不純物領域30の各々により構成されている。底部9は、側面8に連なっている。底部9は、第1不純物領域14により構成されている。

[0059] ゲート絶縁膜6の少なくとも一部は、たとえば、トレンチ5の内部に設けられている。ゲート絶縁膜6は、側面8において、第1不純物領域14、第2不純物領域23および第3不純物領域30の各々に接している。ゲート絶縁膜6は、底部9において、第1不純物領域14に接している。ゲート電極63の少なくとも一部は、たとえば、トレンチ5の内部に設けられている。

[0060] (第4実施形態)

次に、第4実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成について説明する。第4実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成は、活性領域IRがトレンチ型MOSFETである点において、主に、第2実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成と異なっており、その他の点については、第2実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成と同様である。以下、

第2実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成と異なる構成を中心に説明する。

[0061] 図6は、第4実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成を示す一部横断面模式図である。図6に示されるように、平面視において、周辺領域ORは、活性領域IRを取り囲んでいる。周辺領域ORは、第1周辺領域部OR1と、第2周辺領域部OR2と、第3周辺領域部OR3とを有している。チャネルストッパ66は、第1方向101に沿って延在する第1チャネルストッパ領域66aと、第2方向102に沿って延在する第2チャネルストッパ領域66bとを有している。第2チャネルストッパ領域66bは、第4領域44に沿って設けられていてもよい。第1チャネルストッパ領域66aは、第3領域43と第4領域44とを横断していてもよい。第1チャネルストッパ領域66aは、第1領域41と第2領域42とを横断していてもよい。

[0062] 図7は、図6のV11-V11線に沿った縦断面模式図である。図7に示されるように、素子層40にはトレンチ5が設けられている。トレンチ5は、側面8と、底部9とにより規定されている。側面8は、第1不純物領域14、第2不純物領域23および第3不純物領域30の各々により構成されている。底部9は、側面8に連なっている。底部9は、第1不純物領域14により構成されている。

[0063] ゲート絶縁膜6の少なくとも一部は、たとえば、トレンチ5の内部に設けられている。ゲート絶縁膜6は、側面8において、第1不純物領域14、第2不純物領域23および第3不純物領域30の各々に接している。ゲート絶縁膜6は、底部9において、第1不純物領域に接している。ゲート電極63の少なくとも一部は、たとえば、トレンチ5の内部に設けられている。分離絶縁膜64の少なくとも一部は、たとえば、トレンチ5の内部に設けられている。

[0064] 活性領域IRは、たとえば、第6不純物領域67を有していてもよい。第6不純物領域67は、たとえば、p型（第2導電型）を有している。第6不純物領域67は、トレンチ5の底部9に対向している。第6不純物領域67

は、たとえば、第1領域41と、第2領域42と、第1不純物領域14とに接している。第6不純物領域67は、第3方向103において、第2領域42と第1不純物領域14との間に位置している。第1方向101において、第6不純物領域67の幅は、第2領域42の幅よりも大きくてもよい。第1方向101において、第6不純物領域67の幅は、トレンチ5の底部9の幅よりも大きくてもよい。

[0065] 図8は、図6のV | | | - V | | | 線に沿った縦断面模式図である。図8に示されるように、第6不純物領域67は、第2方向102に沿って延在していてもよい。第2方向102における第6不純物領域67の幅は、第1方向101における第6不純物領域67の幅よりも大きくてもよい。同様に、第1不純物領域14は、第2方向102に沿って延在していてもよい。第2方向102における第1不純物領域14の幅は、第1方向101における第1不純物領域14の幅よりも大きくてもよい。

[0066] 図8に示されるように、第2領域42は、第2方向102に沿って周辺領域ORに延在していてもよい。周辺領域ORにおいて、第2領域42は、第1JTE領域53と、第2JTE領域54と、チャンネルストッパ66と接していてもよい。

[0067] (第5実施形態)

次に、第5実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成について説明する。第5実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成は、活性領域IRがPNダイオードである点において、主に、第1実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成と異なり、その他の点については、第1実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成と同様である。以下、第1実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成と異なる構成を中心に説明する。

[0068] 図9は、第5実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成を示す縦断面模式図である。図9に示されるように、素子層40は、たとえば、整流素子部であってもよい。素子層40は、たとえば、p型（第2導電型）を有し

ている。第2電極62は、素子層40に接している。第2電極62は、素子層40上に設けられている。素子層40は、第1スーパージャンクション層10上に設けられている。素子層40は、たとえば、第1領域41および第2領域42の各々に接している。第1電極61は、たとえばカソード電極である。第2電極62は、たとえばアノード電極である。

[0069] (第6実施形態)

次に、第6実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成について説明する。第6実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成は、第1領域41および第3領域43の各々が、第1部分71と第2部分72とを有し、かつ第2領域42および第4領域44の各々が、第3部分73と第4部分74とを有している点において、主に、第3実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成と異なっており、その他の点については、第3実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成と同様である。以下、第3実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成と異なる構成を中心に説明する。

[0070] 図10は、第6実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の構成を示す縦断面模式図である。図10に示されるように、第1領域41および第3領域43の各々は、第1部分71と、第2部分72とを有している。第2部分72は、第1部分71に連なる。第2部分72は、第1部分71と基板90との間に位置している。第1部分71は、第1不純物領域14に接していてもよい。第1部分71は、第5領域45に接していてもよい。第2部分72は、第1バッファ層12に接していてもよい。第2部分72は、第2バッファ層52に接していてもよい。

[0071] 図10に示されるように、第2領域42および第4領域44の各々は、第3部分73と、第4部分74とを有している。第3部分73は、第1部分71に接している。第4部分74は、第2部分72に接している。第4部分74は、第3部分73に連なっている。第4部分74は、第3部分73と基板90との間に位置している。第3部分73は、第1不純物領域14に接していてもよい。第3部分73は、第6領域46に接していてもよい。第4部分

74は、第1バッファ層12に接していてもよい。第4部分74は、第2バッファ層52に接していてもよい。

[0072] 第3部分73と第1部分71とは、第1方向101において隣接している。第3部分73と第1部分71とは、第1方向101において交互に配置されている。第4部分74と第2部分72とは、第1方向101において隣接している。第4部分74と第2部分72とは、第1方向101において交互に配置されている。

[0073] 第3部分73における不純物濃度は、第4部分74における不純物濃度よりも高くてもよい。第1部分71における不純物濃度は、第2部分72における不純物濃度と実質的に同じである。第1部分71における不純物濃度は、第3部分73における不純物濃度と実質的に同じである。第4部分74における不純物濃度は、第2部分72における不純物濃度よりも低くてもよい。

[0074] 第1部分71および第3部分73の各々の不純物濃度は、たとえば、 $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよい。第1部分71および第3部分73の各々の不純物濃度の下限は、特に限定されないが、たとえば、 $4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上であってもよいし、 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上であってもよい。第1部分71および第3部分73の各々の不純物濃度の上限は、特に限定されないが、たとえば、 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよいし、 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよい。

[0075] 図10に示されるように、第2主面2に垂直であって、かつ第1領域41から第2領域42に向かう方向に平行な断面において、第2部分72の幅は、第1部分71の幅（第1幅W1）よりも大きい。第1部分71から第1主面1に向かうにつれて、第2部分72の幅は、単調に大きくなっていてもよい。バッファ層49に接する第2部分72の幅（第2幅W2）は、第1幅W1よりも大きい。

[0076] 図10に示されるように、第2主面2に垂直であって、かつ第1領域41から第2領域42に向かう方向に平行な断面において、第4部分74の幅は

、第3部分73の幅（第3幅W3）よりも小さい。第3部分73から第1主面1に向かうにつれて、第4部分74の幅は、単調に小さくなっていてもよい。バッファ層49に接する第4部分74の幅（第4幅W4）は、第3幅W3よりも小さい。

[0077] 図10に示されるように、第1部分71の幅（第1幅W1）と第3部分73の幅（第3幅W3）との合計の値は、たとえば、 $0.5\mu\text{m}$ 以上 $4\mu\text{m}$ 以下である。第1部分71の幅（第1幅W1）と第3部分73の幅（第3幅W3）との合計の値は、第1スーパージャンクション層10および第2スーパージャンクション層20の各々のピッチPである。第1領域41および第2領域42の各々の高さ（第3高さ）は、たとえば、 $2\mu\text{m}$ 以上である。

[0078] 図10に示されるように、第2主面2に垂直であって、かつ第1領域41から第2領域42に向かう方向に平行な断面において、第1部分71の幅（第1幅W1）は、第1部分71の高さ（第1高さT1）よりも小さくてもよい。第1部分71の高さ（第1高さT1）は、第2部分72の高さ（第2高さT2）よりも大きくてもよい。

[0079] 図10に示されるように、第2主面2に垂直であって、かつ第1領域41から第2領域42に向かう方向に平行な断面において、第3部分73の幅（第3幅W3）は、第3部分73の高さ（第1高さT1）よりも小さくてもよい。第3部分73の高さ（第1高さT1）は、第4部分74の高さ（第2高さT2）よりも大きくてもよい。

[0080] 次に、スーパージャンクション層の形成方法について説明する。

まず、基板90上にバッファ層49が形成される。バッファ層49は、たとえば、エピタキシャル成長によって形成される。次に、バッファ層49上に第1領域41および第3領域43が形成される。第1領域41および第3領域43は、たとえば、エピタキシャル成長によって形成される。バッファ層49、第1領域41および第3領域43の各々は、n型（第1導電型）を有する。バッファ層49の不純物濃度は、第1領域41および第3領域43の各々の不純物濃度と同じであってもよいし、第1領域41および第3領域

4 3 の各々の不純物濃度よりも低くてもよい。次に、第 1 領域 4 1 および第 3 領域 4 3 上にマスク層（図示せず）が形成される。

[0081] 次に、チャネリングイオン注入工程が実施される。具体的には、第 1 領域 4 1 および第 3 領域 4 3 上にマスク層が配置された状態で、第 1 領域 4 1 および第 3 領域 4 3 に対して、たとえばアルミニウムなどの p 型（第 2 導電型）を付与可能な不純物イオンが注入される。注入エネルギーは、たとえば 960 keV である。注入温度は、たとえば室温である。これにより、第 1 領域 4 1 の一部に第 2 領域 4 2 が形成される。第 2 領域 4 2 は、第 1 方向 1 0 1 において、離間して設けられる。同様に、第 3 領域 4 3 の一部に第 4 領域 4 4 が形成される。第 4 領域 4 4 は、第 1 方向 1 0 1 において、離間して設けられる。以上により、第 1 領域 4 1 と第 2 領域 4 2 とが交互に配置された第 1 スーパージャンクション層 1 0 と、第 3 領域 4 3 と第 4 領域 4 4 とが交互に配置された第 2 スーパージャンクション層 2 0 とが形成される（図 1 0 参照）。

[0082] チャネリングイオン注入工程においては、炭化珪素の結晶軸である $\langle 0001 \rangle$ 方向に実質的に平行な方向に不純物イオンが注入される。不純物イオンの注入方向は、 $\langle 0001 \rangle$ 方向に対して、たとえば 0.5° 以下の角度だけ傾斜していてもよい。具体的には、不純物イオンの注入方向は、第 3 方向 1 0 3 がオフ方向に傾斜した方向であってもよい。オフ方向は、たとえば第 1 方向 1 0 1 であってもよいし、第 2 方向 1 0 2 であってもよい。これにより、不純物イオンと炭化珪素との散乱を低減することで、深くまで不純物イオンを注入することができる。結果として、第 2 領域 4 2 および第 4 領域 4 4 が形成される（図 1 0 参照）。第 2 領域 4 2 および第 4 領域 4 4 の各々は、第 3 部分 7 3 と、第 4 部分 7 4 とを有している。第 4 部分 7 4 の幅は、第 3 部分 7 3 の幅よりも小さく形成される。

[0083] 次に、各不純物領域における p 型不純物の濃度および n 型不純物の濃度の測定方法について説明する。

[0084] 各不純物領域における p 型不純物の濃度および n 型不純物の濃度は、S I

MS (Secondary Ion Mass Spectrometry) を用いて測定することができる。測定装置は、たとえばCameca製の二次イオン質量分析装置である。測定ピッチは、たとえば $0.01\mu\text{m}$ である。検出するn型不純物が窒素の場合、一次イオンビーム(primary ion beam)は、セシウム(Cs)である。一次イオンエネルギーは、 14.5keV である。二次イオンの極性(secondary ion polarity)は、負(negative)である。検出するp型不純物がアルミニウムまたはホウ素の場合、一次イオンビーム(primary ion beam)は、酸素(O_2)である。一次イオンエネルギーは、 8keV である。二次イオンの極性(secondary ion polarity)は、正(positive)である。

[0085] 次に、p型領域とn型領域との判別方法について説明する。

p型領域とn型領域との判別方法には、SCM (Scanning Capacitance Microscope) が用いられる。測定装置は、たとえばブルカー・エイエックスエス社製のNanoScope IVである。SCMは、半導体中のキャリア濃度分布を可視化する方法である。具体的には、金属コートされたシリコン探針を用いて、試料の表面上が走査される。その際、試料に高周波電圧が印加される。多数キャリアを励振して系の静電容量に変調が加えられる。試料に印可される高周波電圧の周波数は、 100kHz であり、電圧は 4.0V である。p型領域とn型領域との判別方法には、SNDM (Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy) またはSMM (Scanning Microwave Microscopy) が用いられてもよい。

[0086] なお上記においては、第1導電型はn型でありかつ第2導電型はp型であるとして説明したが、第1導電型はp型でありかつ第2導電型はn型であってもよい。n型を有する不純物領域の不純物濃度は、n型不純物の濃度である。p型を有する不純物領域の不純物濃度は、p型不純物の濃度である。

[0087] 次に、上記実施形態に係る炭化珪素半導体装置100の作用効果について説明する。

珪素は、二酸化珪素よりも絶縁破壊強度が低い。そのため、Si-MOSFETの場合には、周辺領域ORの電界強度が、活性領域IRの電界強度よりも高くなるようにMOSFETを設計することにより、信頼性を向上することができる。一方、炭化珪素は、二酸化珪素よりも絶縁破壊強度が高い。そのため、SiC-MOSFETの場合には、周辺領域ORの電界強度が、活性領域IRの電界強度よりも高くなるようにMOSFETを設計すると、半導体層よりも絶縁層7が先に破壊するため、信頼性を十分向上させることが困難であった。

[0088] そこで、発明者らは、周辺領域ORの電界強度を低くすることで半導体層と絶縁層7との界面に電界が集中することを抑制し、かつ活性領域IRの電界強度を高くすることで活性領域IRにおいて積極的にアバランシェを発生させるという設計思想を着想した。

[0089] 発明者らは、上記のような設計思想を実現するための具体的な構造について鋭意検討を行った。その結果、炭化珪素半導体装置100を以下の構造とすることにより、周辺領域ORにおいて電界を集中させる構造と比較して、炭化珪素半導体装置100の信頼性を向上可能であることを見出した。

[0090] 具体的には、本開示に係る炭化珪素半導体装置100は、基板90と、活性領域IRと、周辺領域ORと、第1電極61とを備えている。基板90は、第1導電型の炭化珪素半導体よりなる。活性領域IRは、基板90の第1主面1の一部に設けられている。周辺領域ORは、基板90上に設けられ、かつ平面視において活性領域IRを取り囲んでいる。第1電極61は、基板90の第1主面1に対向する第2主面2に設けられている。活性領域IRは、第1スーパージャンクション層10と、素子層40と、第2電極62とを含んでいる。第1スーパージャンクション層10は、基板90の上方に設けられ、第1導電型の第1領域41および第2導電型の第2領域42を交互に有している。素子層40は、第1スーパージャンクション層10の上方に設けられている。第2電極62は、素子層40の上に設けられている。周辺領域ORは、第2スーパージャンクション層20と、終端層50と、絶縁層7

とを含んでいる。第2スーパージャンクション層20は、基板90の上方に設けられ、第1導電型の第3領域43および第2導電型の第4領域44を交互に有している。終端層50は、第2スーパージャンクション層20の上に接して設けられ、第2導電型の第5領域45および第2導電型の第6領域46を交互に有している。絶縁層7は、第5領域45の上端面および第6領域46の上端面の各々に接している。第5領域45は第3領域43に対応して設けられるとともに、第6領域46は第4領域44に対応して設けられている。第6領域46の不純物濃度は、第5領域45の不純物濃度よりも大きく、かつ第5領域45の不純物濃度の68倍以下である。これにより、炭化珪素半導体装置100の信頼性を向上することができる。

実施例

[0091] 第5領域45の不純物濃度に対する第6領域46の不純物濃度と、炭化珪素半導体装置100の信頼性との関係を調査するため、耐圧シミュレーションを実施した。まず、スーパージャンクション層の不純物濃度が異なるシミュレーションモデル(1200V設計素子)を作成した。表1に示されるように、第1シミュレーションモデル(条件2~8)においては、スーパージャンクション層の不純物濃度(言い換えれば、第3領域43および第4領域44の各々の不純物濃度:図1参照)は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ とした。第2シミュレーションモデル(条件1)においては、スーパージャンクション層の不純物濃度は、 $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ とした。スーパージャンクション層の厚みは、 $7.5 \mu\text{m}$ とした。第3領域43および第4領域44の各々に対して、同じ不純物濃度のp型不純物を追加して、第5領域45および第6領域46の各々を形成した。

[0092]

[表1]

条件	スーパージャンクション層 の不純物濃度 (cm ⁻³)	第 6 領域の不純物濃度/ 第 5 領域の不純物濃度	耐圧 (V)
条件 1	3×10^{16}	1.11	1229
条件 2	1×10^{17}	1.48	1191
条件 3	1×10^{17}	1.58	1274
条件 4	1×10^{17}	2.03	1755
条件 5	1×10^{17}	5.26	1434
条件 6	1×10^{17}	33.3	1211
条件 7	1×10^{17}	49.8	1201
条件 8	1×10^{17}	67.7	1198

[0093] 表 1 に示されるように、第 1 シミュレーションモデルにおいては、第 6 領域 4 6 の不純物濃度を第 5 領域 4 5 の不純物濃度で除した値は、1.48 以上 67.7 以下の範囲とした。第 2 シミュレーションモデルにおいては、第 6 領域 4 6 の不純物濃度を第 5 領域 4 5 の不純物濃度で除した値は、1.11 とした。

[0094] 図 1 1 は、耐圧シミュレーション結果を示す図である。図 1 1 および表 1 に示されるように、第 6 領域 4 6 の不純物濃度が、第 5 領域 4 5 の不純物濃度の 1.11 倍以上 67.7 倍以下の範囲において、1.2 kV 以上程度の高い耐圧を実現可能であることが示された。特に、第 6 領域 4 6 の不純物濃度が、第 5 領域 4 5 の不純物濃度の 1.48 倍よりも大きく 33.3 倍よりも小さい範囲において、より高い耐圧を実現可能であることが示された。

[0095] 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考えられるべきである。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

[0096] 1 第 1 主面、2 第 2 主面、3 第 3 主面、3 a 第 1 上端面、3 b 第 2 上端面、4 第 4 主面、5 トレンチ、6 ゲート絶縁膜、7 絶縁層、8 側面、9 底部、10 第 1 スーパージャンクション層、11 第 1 基板部、12 第 1 バッファ層、14 第 1 不純物領域、20 第 2 スーパー

ジャンクション層、23 第2不純物領域、24 第4不純物領域、30 第3不純物領域、40 素子層、41 第1領域、42 第2領域、43 第3領域、44 第4領域、45 第5領域、46 第6領域、47 第7領域、48 第8領域、49 バッファ層、50 終端層、51 第2基板部、52 第2バッファ層、53 第1JTE領域、54 第2JTE領域、55 第2終端層、56 第1終端層、61 第1電極、62 第2電極、63 ゲート電極、64 分離絶縁膜、66 チャンネルストップ、66a 第1チャンネルストップ領域、66b 第2チャンネルストップ領域、67 第6不純物領域、71 第1部分、72 第2部分、73 第3部分、74 第4部分、81 第1境界面、82 第2境界面、90 基板、91 第1区域、92 第2区域、93 第3区域、94 第4区域、100 炭化珪素半導体装置、101 第1方向、102 第2方向、103 第3方向、D1 第1距離、D2 第2距離、IR 活性領域、OR 周辺領域、OR1 第1周辺領域部、OR2 第2周辺領域部、OR3 第3周辺領域部、P ピッチ、T1 第1高さ、T2 第2高さ、T3 第3厚み、T4 第4厚み、W1 第1幅、W2 第2幅、W3 第3幅、W4 第4幅。

請求の範囲

[請求項1]

第1導電型の炭化珪素半導体よりなる基板と、
前記基板の第1主面の一部に設けられた活性領域と、
前記基板上に設けられ、かつ平面視において前記活性領域を取り囲む周辺領域と、
前記基板の前記第1主面に対向する第2主面に設けられた第1電極と、を備え、
前記活性領域は、
前記基板の上方に設けられ、前記第1導電型の第1領域および第2導電型の第2領域を交互に有する第1スーパージャンクション層と、
前記第1スーパージャンクション層の上方に設けられた素子層と、
前記素子層の上に設けられた第2電極と、を含み、
前記周辺領域は、
前記基板の上方に設けられ、前記第1導電型の第3領域および前記第2導電型の第4領域を交互に有する第2スーパージャンクション層と、
前記第2スーパージャンクション層の上に接して設けられ、前記第2導電型の第5領域および前記第2導電型の第6領域を交互に有する終端層と、
前記第5領域の上端面および前記第6領域の上端面の各々に接する絶縁層と、を含み、
前記第5領域は前記第3領域に対応して設けられるとともに、前記第6領域は前記第4領域に対応して設けられ、
前記第6領域の不純物濃度は、前記第5領域の不純物濃度よりも大きく、かつ前記第5領域の不純物濃度の68倍以下である、炭化珪素半導体装置。

- [請求項2] 前記第6領域の不純物濃度は、前記第4領域の不純物濃度よりも大きい、請求項1に記載の炭化珪素半導体装置。
- [請求項3] 前記第5領域の不純物濃度と前記第6領域の不純物濃度の差分の絶対値は、前記第3領域の不純物濃度と前記第4領域の不純物濃度の和と実質的に等しい、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] 前記素子層の上端面と、前記素子層と前記第1スーパージャンクション層の境界面との第1距離は、前記終端層の上端面と、前記終端層と前記第2スーパージャンクション層の境界面との第2距離より大きい、請求項1から請求項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] 前記第1領域および前記第3領域の各々は、第1部分と、前記第1部分と前記基板との間に位置する第2部分とを有し、
前記第2領域および前記第4領域の各々は、前記第1部分に接する第3部分と、前記第2部分に接しかつ前記第3部分と前記基板との間に位置する第4部分とを有し、
前記第2主面に垂直であって、かつ前記第1領域から前記第2領域に向かう方向に平行な断面において、
前記第2部分の幅は、前記第1部分の幅よりも大きく、
前記第4部分の幅は、前記第3部分の幅よりも小さく、
前記第1部分の幅は、前記第1部分の高さよりも小さく、
前記第3部分の幅は、前記第3部分の高さよりも小さく、
前記第1部分および前記第3部分の各々の不純物濃度は、前記第2部分および前記第4部分の各々の不純物濃度よりも大きい、請求項1から請求項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] 前記第1領域および前記第3領域の各々の不純物濃度は、 $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、
前記第2領域および前記第4領域の各々の不純物濃度は、 $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、

10^{16} cm^{-3} 以上 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下である、請求項 1 から請求項 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] 前記第 1 スーパージャンクション層と前記基板との間には、前記第 1 導電型の第 1 バッファ層が設けられており、

前記第 2 スーパージャンクション層と前記基板との間には、前記第 1 導電型の第 2 バッファ層が設けられている、請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の炭化珪素半導体装置。

[請求項8] 前記素子層は、前記第 1 導電型の第 1 不純物領域と、前記第 1 不純物領域に接しかつ前記第 2 導電型を有する第 2 不純物領域と、前記第 2 不純物領域によって前記第 1 不純物領域から隔てられかつ前記第 1 導電型を有する第 3 不純物領域とを含み、

前記素子層には、前記第 1 不純物領域、前記第 2 不純物領域および前記第 3 不純物領域の各々により構成された側面と、前記側面に連なりかつ前記第 1 不純物領域により構成された底部とを有するトレンチが設けられており、

前記第 1 電極はソース電極であり、前記第 2 電極はドレイン電極であり、

前記トレンチの内部には、ゲート電極が設けられている、請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の炭化珪素半導体装置。

[請求項9] 前記第 1 主面は、 $\{0001\}$ 面または $\{000\bar{1}\}$ 面に対して 8° 以下の角度で傾斜した面である、請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の炭化珪素半導体装置。

[図1]

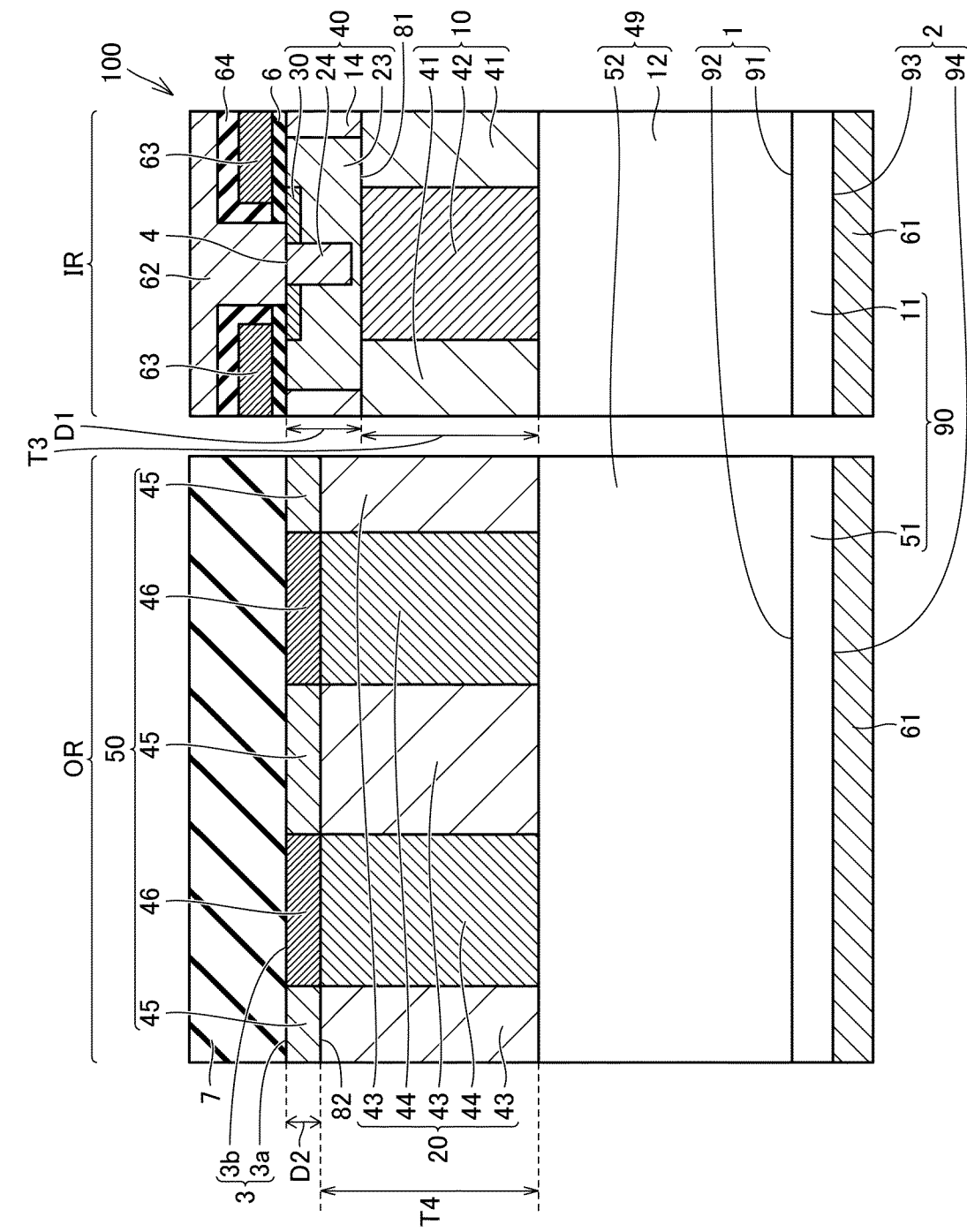
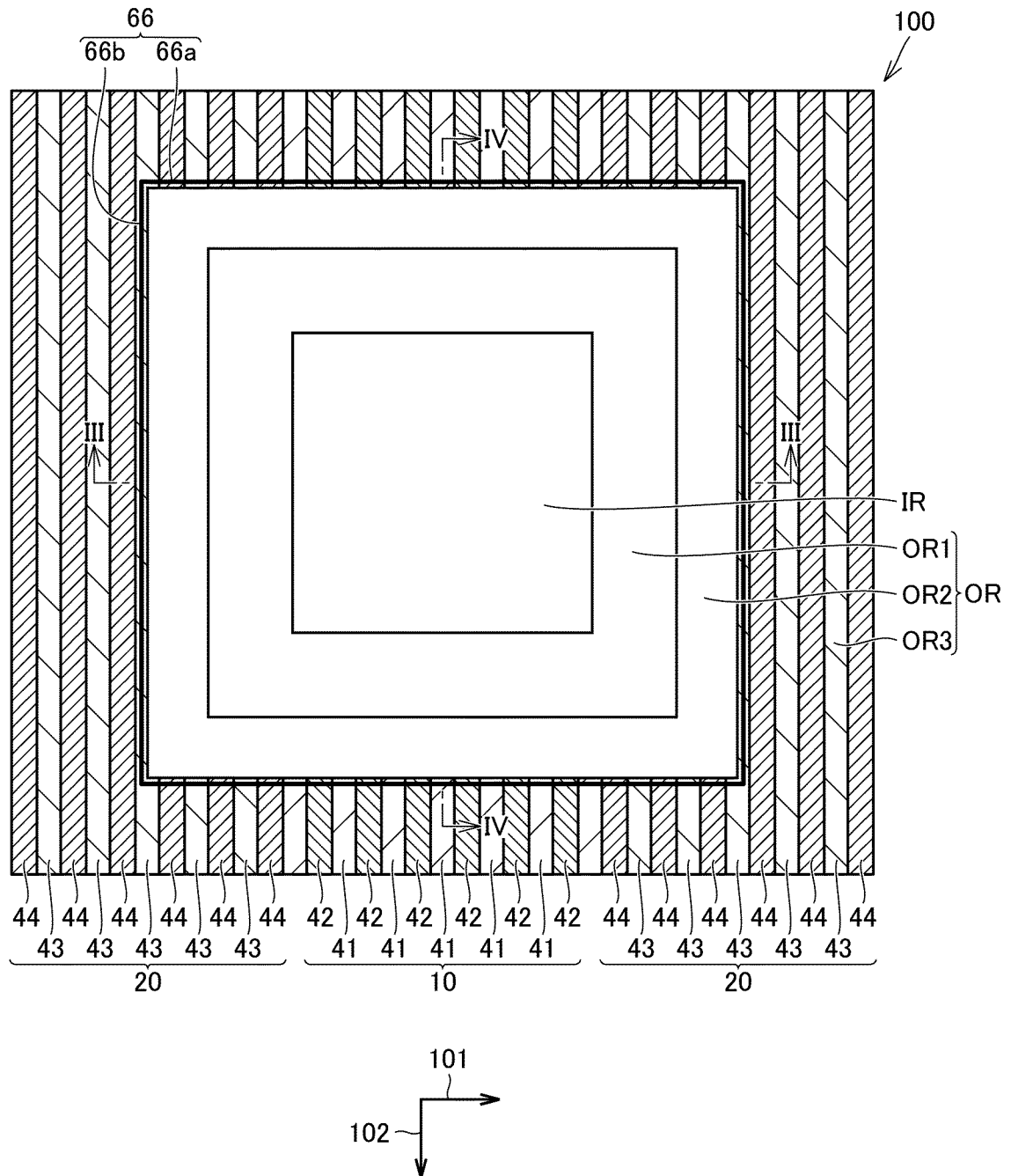


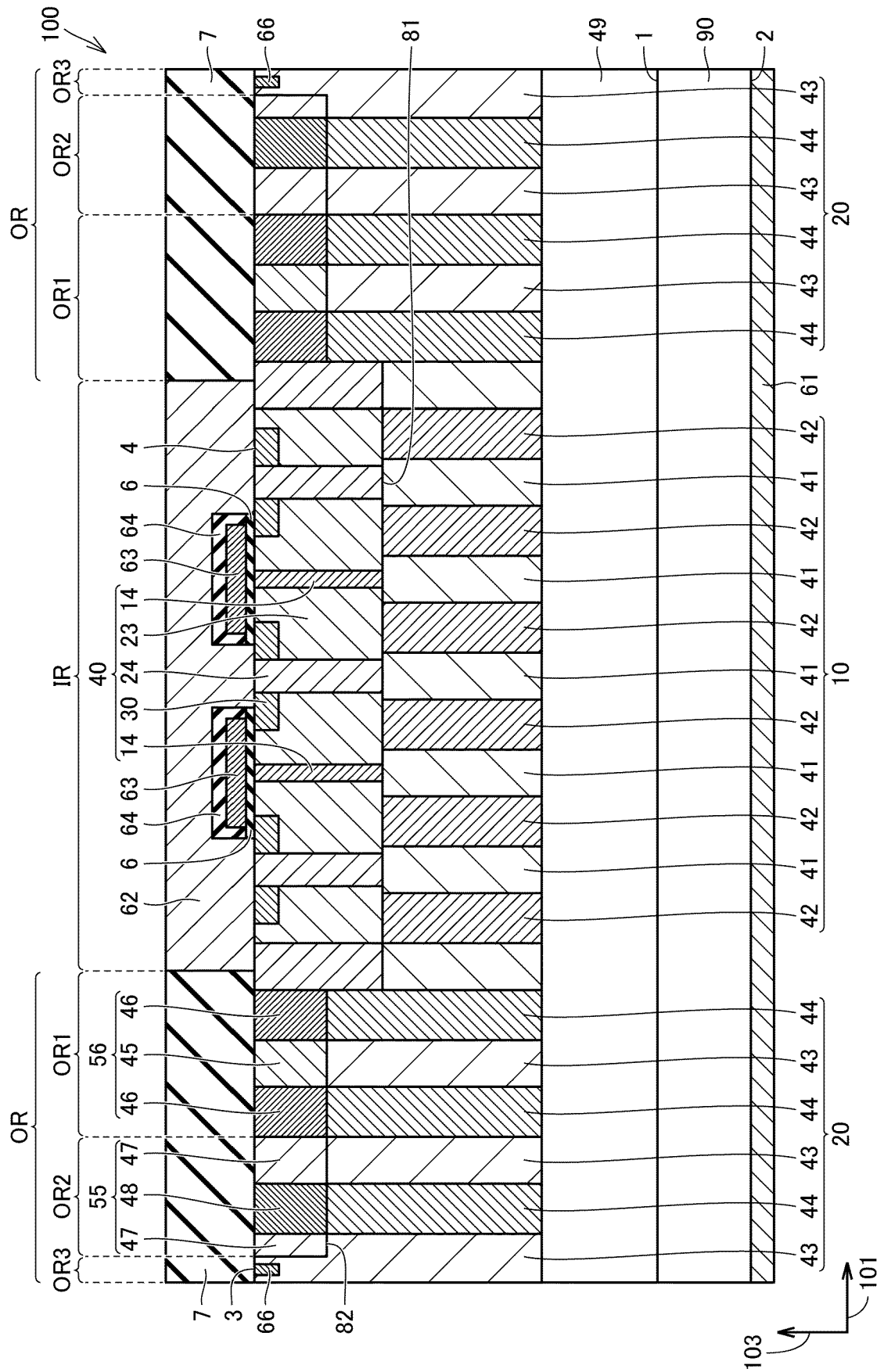
FIG.1

[図2]

FIG.2

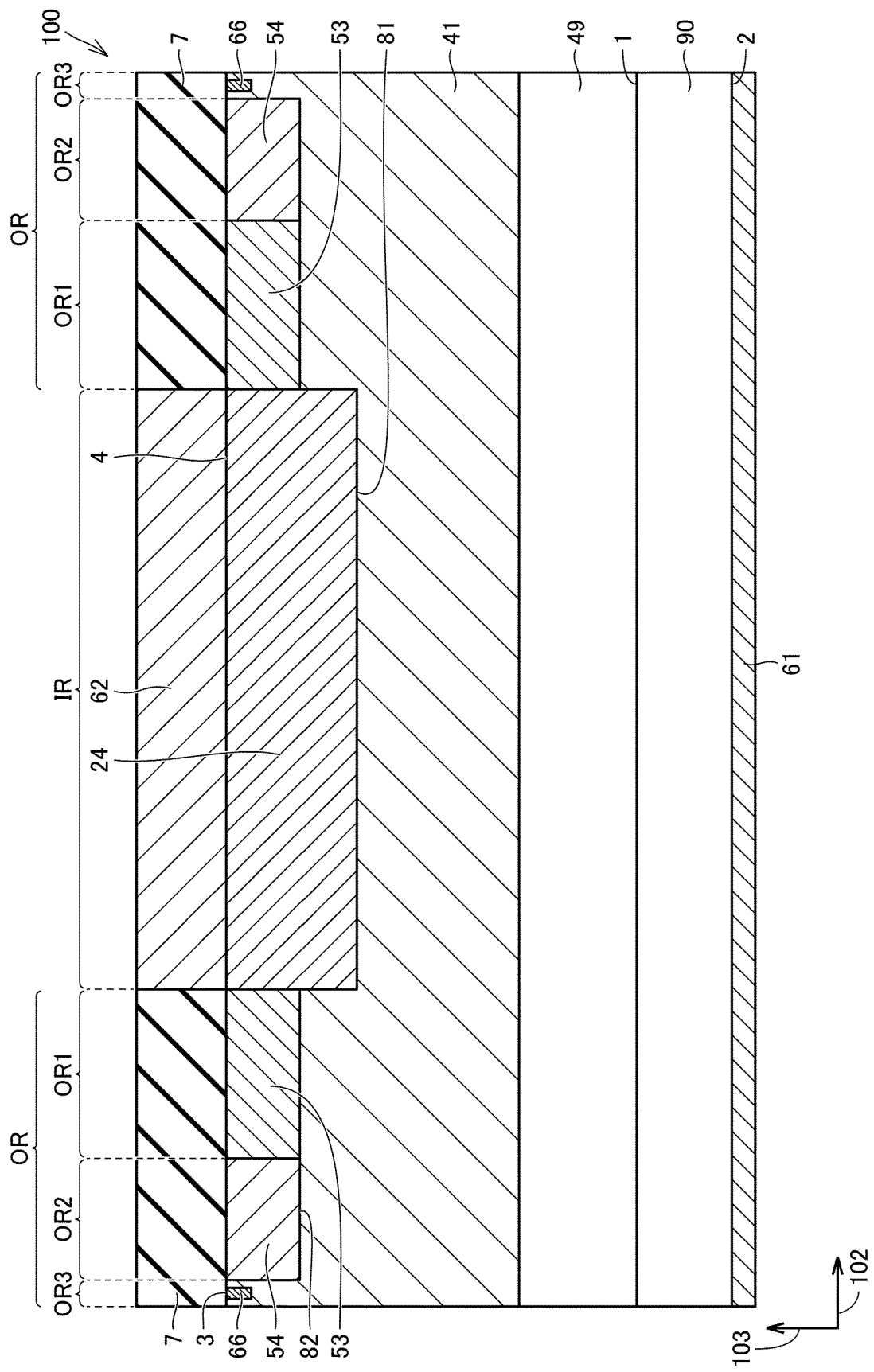


[FIG.3]



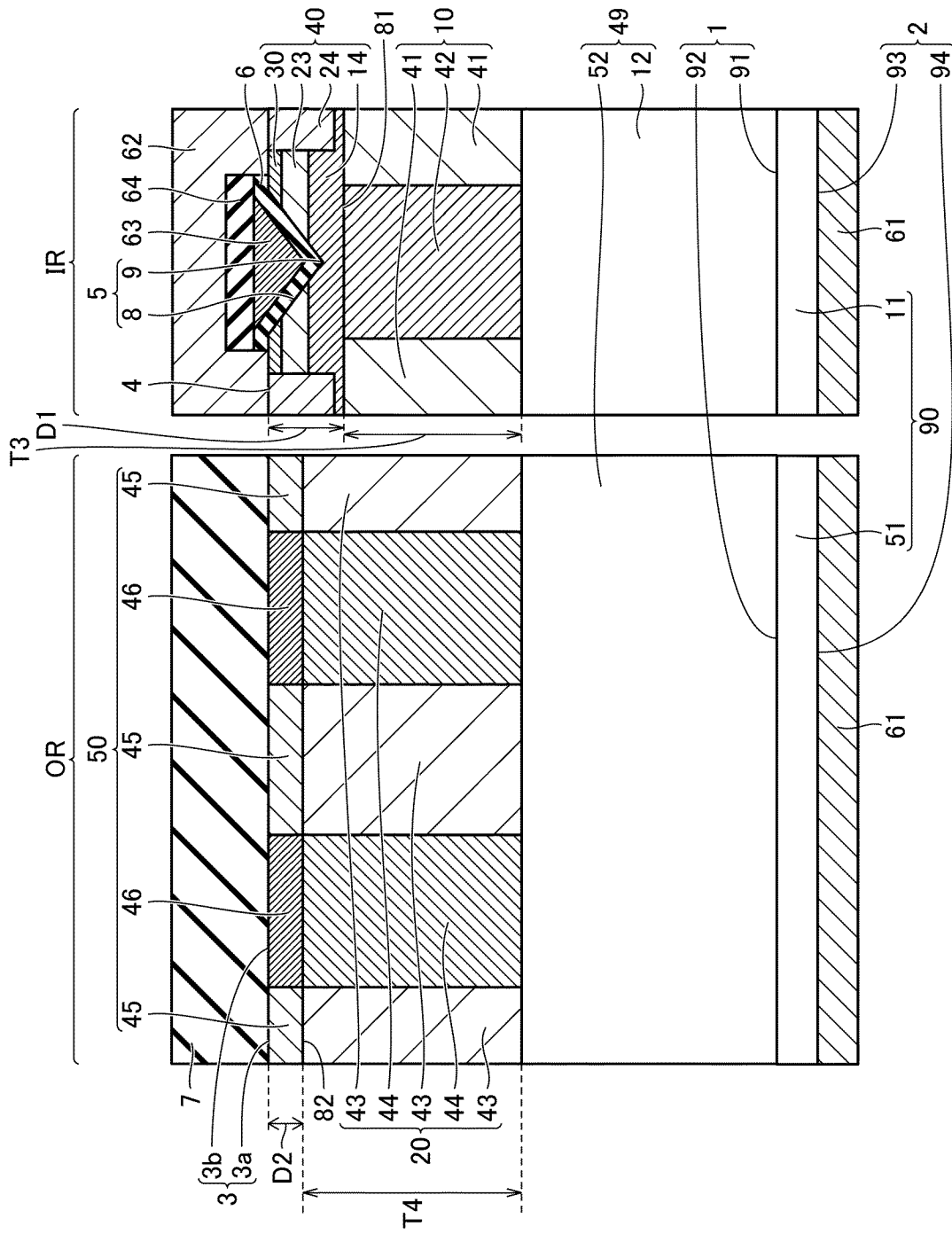
[図4]

FIG.4



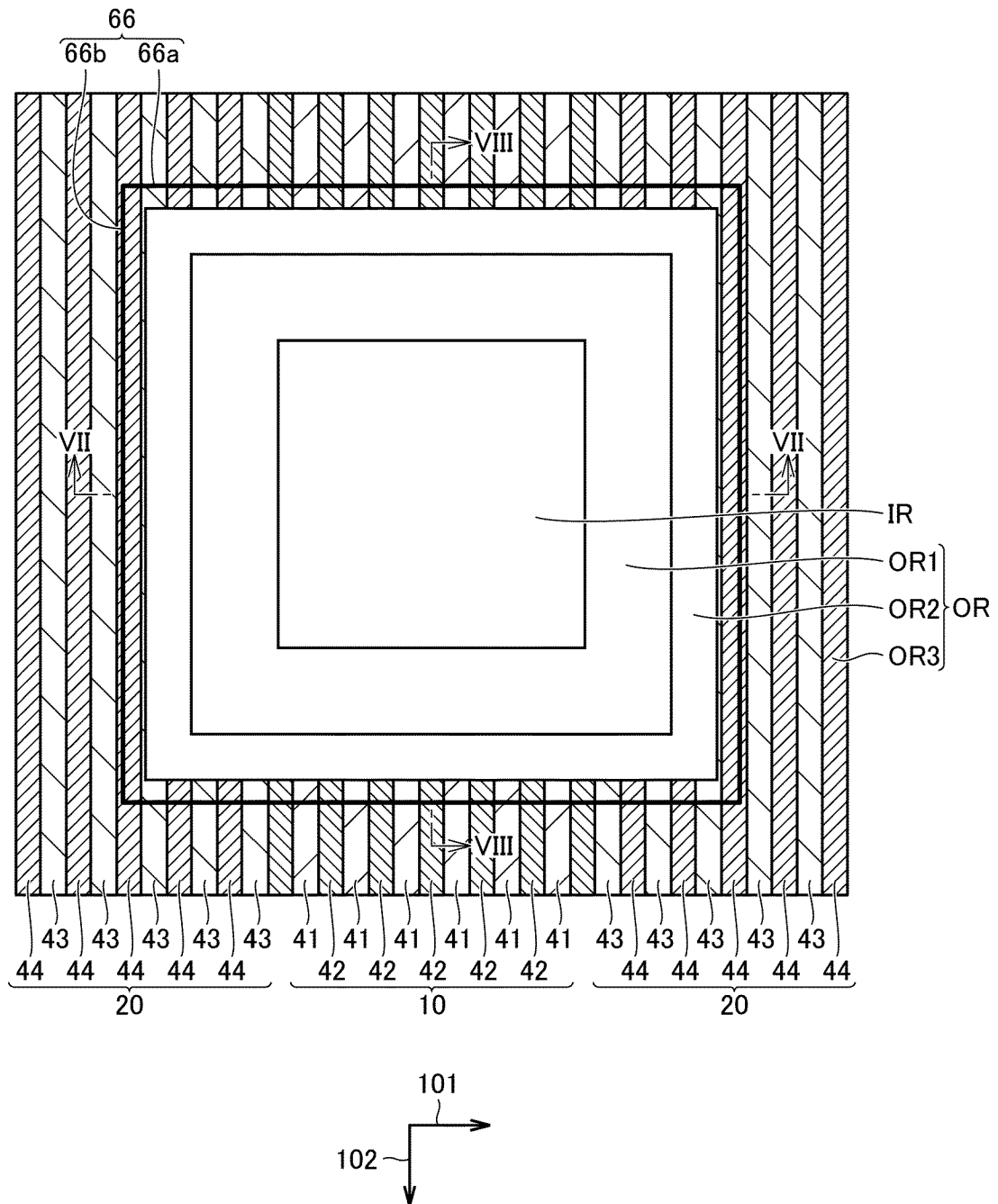
[図5]

FIG.5



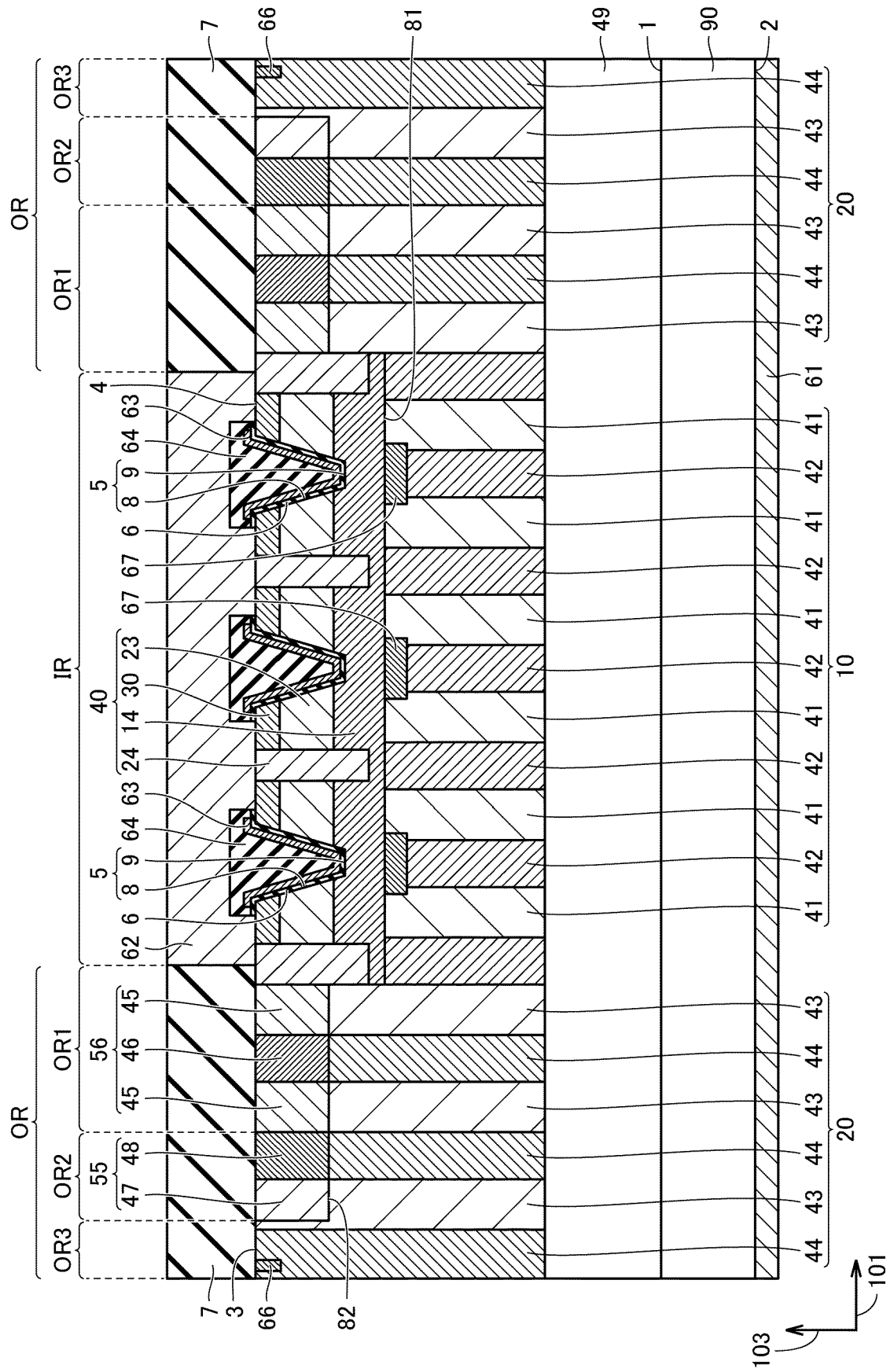
[図6]

FIG.6

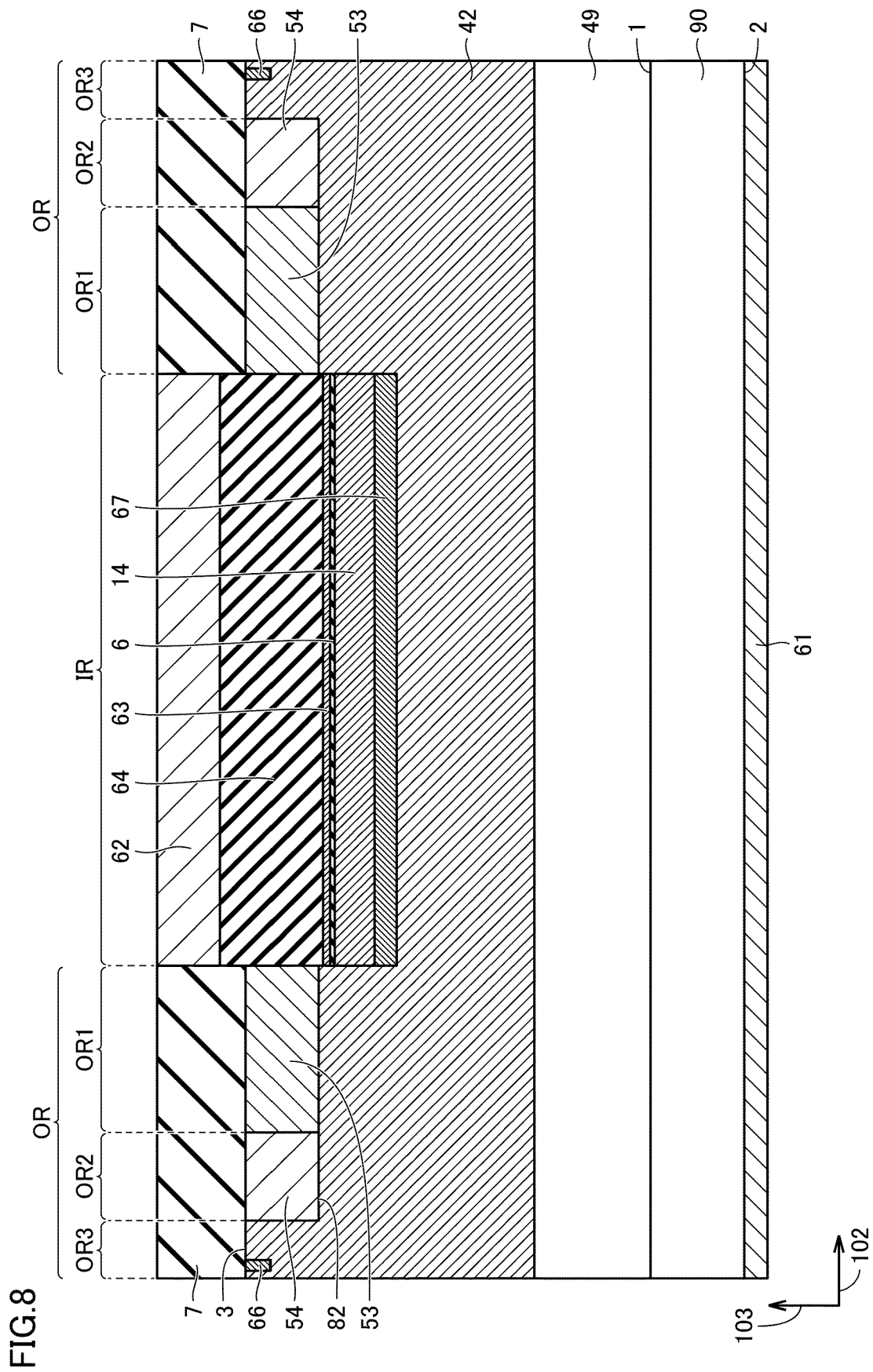


[図7]

FIG.7

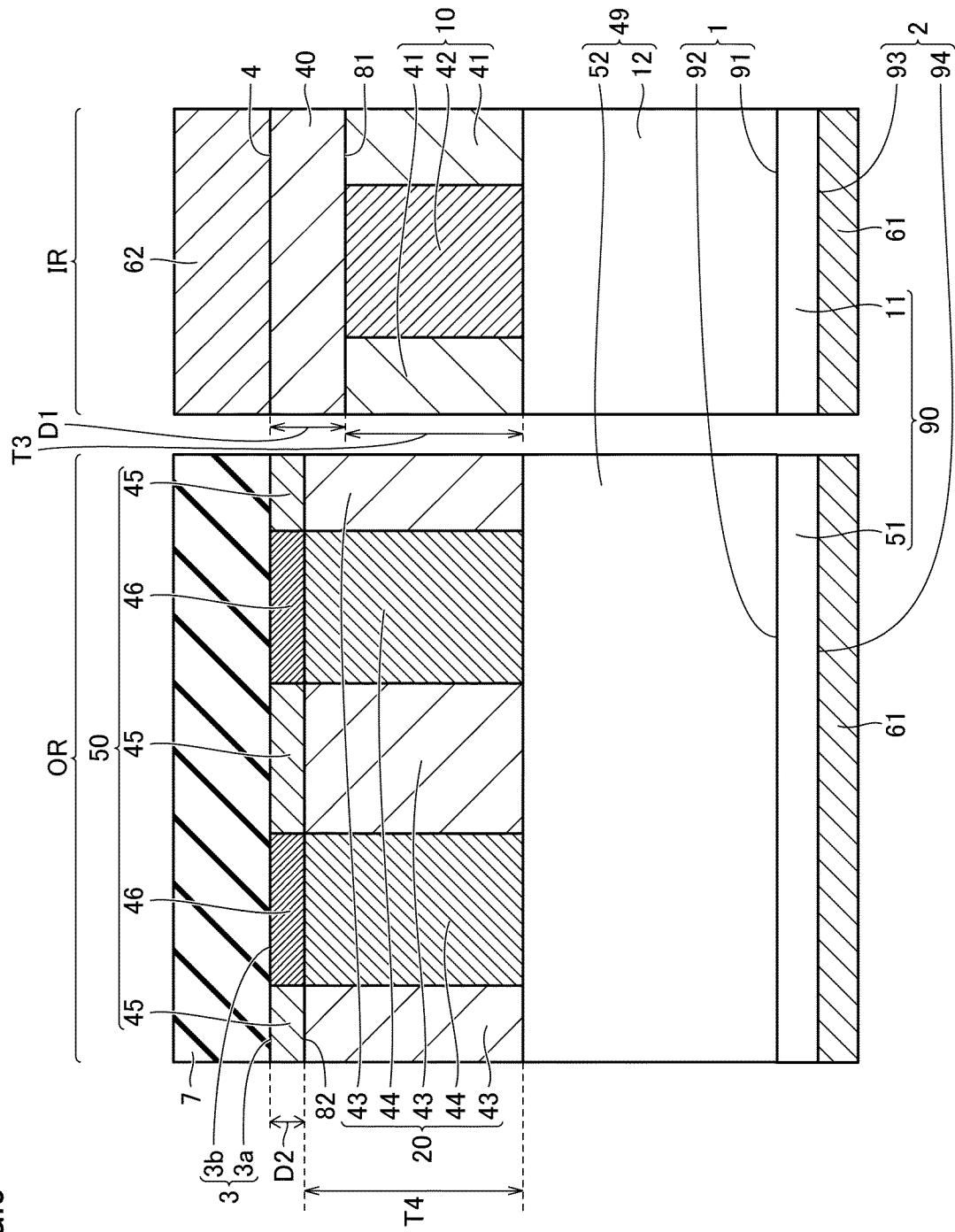


[図8]



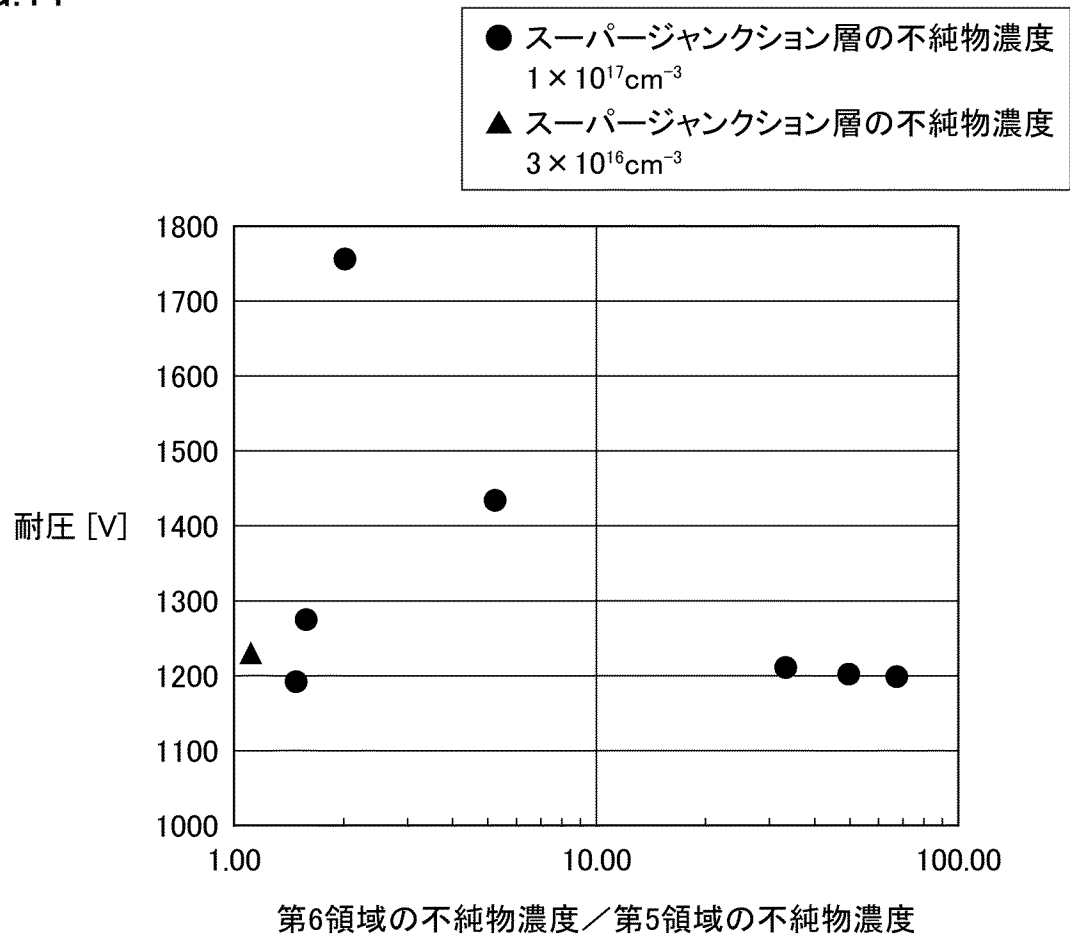
[図9]

FIG.9



[図11]

FIG.11



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/009766

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H01L29/06(2006.01)i, H01L29/78(2006.01)i, H01L29/12(2006.01)i, H01L21/336(2006.01)i, H01L29/861(2006.01)i, H01L29/868(2006.01)i
FI: H01L29/78 652H, H01L29/78 652T, H01L29/78 652N, H01L29/78 658J, H01L29/78 652S, H01L29/78 652P, H01L29/06 301G, H01L29/06 301V, H01L29/78 652K, H01L29/78 653A, H01L29/91 D, H01L29/91 F, H01L29/78 658A

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)

Int. Cl. H01L29/06, H01L29/78, H01L29/12, H01L21/336, H01L29/861, H01L29/868

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 1971-2021
Registered utility model specifications of Japan 1996-2021
Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

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	WO 2018/029951 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 15	1-3, 6-9
A	February 2018, paragraphs [0028]-[0079], fig. 3-13	4, 5
A	JP 2018-152522 A (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 27	1-9
	September 2018, paragraphs [0028]-[0037], fig. 1	
A	JP 2015-133385 A (RENESAS ELECTRONICS CORP.) 23	1-9
	July 2015, paragraphs [0030]-[0069], fig. 1, 2	

☐ 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
02.06.2021

Date of mailing of the international search report
15.06.2021

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

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/009766

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2018/029951 A1	15.02.2018	US 2019/0333988 A1 paragraphs [0048]- [0102], fig. 3-13 DE 112017003957 T5 CN 109564932 A	
JP 2018-152522 A	27.09.2018	US 2018/0269278 A1 paragraphs [0031]- [0040], fig. 1 CN 108574000 A	
JP 2015-133385 A	23.07.2015	US 2015/0200293 A1 paragraphs [0056]- [0097], fig. 1, 2 US 2016/0133505 A1 EP 2894673 A1 CN 104779290 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01L 29/06(2006.01)i; H01L 29/78(2006.01)i; H01L 29/12(2006.01)i; H01L 21/336(2006.01)i; H01L 29/861(2006.01)i; H01L 29/868(2006.01)i FI: H01L29/78 652H; H01L29/78 652T; H01L29/78 652N; H01L29/78 658J; H01L29/78 652S; H01L29/78 652P; H01L29/06 301G; H01L29/06 301V; H01L29/78 652K; H01L29/78 653A; H01L29/91 D; H01L29/91 F; H01L29/78 658A																	
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）） H01L29/06; H01L29/78; H01L29/12; H01L21/336; H01L29/861; H01L29/868 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2021年</td> </tr> </table> 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）			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2021年	日本国実用新案登録公報	1996-2021年	日本国登録実用新案公報	1994-2021年							
日本国実用新案公報	1922-1996年																
日本国公開実用新案公報	1971-2021年																
日本国実用新案登録公報	1996-2021年																
日本国登録実用新案公報	1994-2021年																
C. 関連すると認められる文献 <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>WO 2018/029951 A1（三菱電機株式会社）15.02.2018（2018-02-15） 段落0028-0079, 図3-13</td> <td>1-3, 6-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> <td>4, 5</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2018-152522 A（富士電機株式会社）27.09.2018（2018-09-27） 段落0028-0037, 図1</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2015-133385 A（ルネサスエレクトロニクス株式会社）23.07.2015（2015-07-23） 段落0030-0069, 図1, 2</td> <td>1-9</td> </tr> </tbody> </table>			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	WO 2018/029951 A1（三菱電機株式会社）15.02.2018（2018-02-15） 段落0028-0079, 図3-13	1-3, 6-9	A		4, 5	A	JP 2018-152522 A（富士電機株式会社）27.09.2018（2018-09-27） 段落0028-0037, 図1	1-9	A	JP 2015-133385 A（ルネサスエレクトロニクス株式会社）23.07.2015（2015-07-23） 段落0030-0069, 図1, 2	1-9
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	WO 2018/029951 A1（三菱電機株式会社）15.02.2018（2018-02-15） 段落0028-0079, 図3-13	1-3, 6-9															
A		4, 5															
A	JP 2018-152522 A（富士電機株式会社）27.09.2018（2018-09-27） 段落0028-0037, 図1	1-9															
A	JP 2015-133385 A（ルネサスエレクトロニクス株式会社）23.07.2015（2015-07-23） 段落0030-0069, 図1, 2	1-9															
☐ 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、一般的な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 02.06.2021		国際調査報告の発送日 15.06.2021															
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） 恩田 和彦 5F 5896 電話番号 03-3581-1101 内線 3516															

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/JP2021/009766

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2018/029951	A1	15.02.2018	US	2019/0333988	A1	
				段落0048-0102, 図3-13			
				DE	112017003957	T5	
				CN	109564932	A	
JP	2018-152522	A	27.09.2018	US	2018/0269278	A1	
				段落0031-0040, 図1			
				CN	108574000	A	
JP	2015-133385	A	23.07.2015	US	2015/0200293	A1	
				段落0056-0097, 図1, 2			
				US	2016/0133505	A1	
				EP	2894673	A1	
				CN	104779290	A	