

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))

than both a minimum thickness of the first sidewall region on the second semiconductor layer and a minimum thickness of the second sidewall region on the second semiconductor layer.

(57) 要約: 炭化珪素半導体装置は、主面を有する炭化珪素基板と、前記炭化珪素基板上のゲート絶縁膜と、前記ゲート絶縁膜上のゲート電極と、を有する。主面にトレンチが設けられており、前記トレンチは、底面と、第1の側壁面と、第2の側壁面と、前記第1の側壁面と前記第2の側壁面とに連なる第3の側壁面と、を有する。前記ゲート絶縁膜は、前記底面上に位置する底領域と、前記第1の側壁面上に位置する第1の側壁領域と、前記第2の側壁面上に位置する第2の側壁領域と、前記第3の側壁面上に位置する第3の側壁領域と、炭化珪素基板の上面上に位置して前記第3の側壁領域につながる頂領域と、を有する。前記底領域の厚さ、前記第3の側壁領域の厚さおよび前記頂領域の厚さのいずれもが、前記第1の側壁領域の前記第2の半導体層上での最小の厚さおよび前記第2の側壁領域の前記第2の半導体層上での最小の厚さのいずれよりも大きい。

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。

[0002] 本出願は、2019年8月6日出願の日本出願2019-144751号に基づく優先権を主張し、前記日本出願に記載された全ての記載内容を援用するものである。

背景技術

[0003] 炭化珪素半導体装置の一つとして、ゲートトレンチの底部に厚い絶縁膜が設けられたトレンチゲート型MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) が開示されている（たとえば、特許文献1）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：国際公開第2014/148130号

発明の概要

[0005] 本実施形態の一観点によれば、炭化珪素半導体装置は、主面を有する炭化珪素基板と、前記炭化珪素基板上のゲート絶縁膜と、前記ゲート絶縁膜上のゲート電極と、を有する。前記炭化珪素基板は、第1の導電型を有する第1の半導体層と、前記第1の半導体層上に設けられ第2の導電型を有する第2の半導体層と、前記第2の半導体層上に設けられ前記第2の半導体層によって前記第1の半導体層と分離され前記第1の導電型を有する第3の半導体層と、を有する。前記主面に第1の方向に沿って延びるトレンチが設けられており、前記トレンチは、前記第1の半導体層からなる底面と、前記第3の半導体層および前記第2の半導体層を貫通して前記底面に連なる第1の側壁面と、前記第1の方向と垂直な第2の方向において前記第1の側壁面から離間し、前記第3の半導体層および前記第2の半導体層を貫通して前記底面に連なる第2の側壁面と、前記第1の方向に沿って延びる前記トレンチの端部を

形成し、前記第3の半導体層および前記第2の半導体層を貫通して前記底面に連なり、前記第1の側壁面と前記第2の側壁面とに連なる第3の側壁面と、を有する。前記ゲート絶縁膜は、前記底面上に位置する底領域と、前記第1の側壁面上に位置する第1の側壁領域と、前記第2の側壁面上に位置する第2の側壁領域と、前記第3の側壁面上に位置する第3の側壁領域と、前記第3の半導体層の上面上に位置して前記第3の側壁領域につながる頂領域と、を有する。前記底領域の厚さ、前記第3の側壁領域の厚さおよび前記頂領域の厚さのいずれもが、前記第1の側壁領域の前記第2の半導体層上での最小の厚さおよび前記第2の側壁領域の前記第2の半導体層上での最小の厚さのいずれよりも大きい。

図面の簡単な説明

[0006] [図1]図1は、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の構成を示す断面図（その1）である。

[図2]図2は、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の構成を示す断面図（その2）である。

[図3]図3は、実施形態に係る炭化珪素半導体装置におけるゲート絶縁膜の構成を示す斜視図である。

[図4]図4は、実施形態に係る炭化珪素半導体装置におけるゲート絶縁膜の構成を示す平面図である。

[図5]図5は、図1の一部を拡大して示す断面図（その1）である。

[図6]図6は、図1の一部を拡大して示す断面図（その2）である。

[図7A]図7Aは、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その1）である。

[図7B]図7Bは、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その2）である。

[図7C]図7Cは、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その3）である。

[図7D]図7Dは、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面

図（その４）である。

[図7E]図 7 E は、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その５）である。

[図7F]図 7 F は、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その６）である。

[図7G]図 7 G は、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その７）である。

[図7H]図 7 H は、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その８）である。

[図7I]図 7 I は、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その９）である。

[図7J]図 7 J は、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その１０）である。

[図7K]図 7 K は、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その１１）である。

[図7L]図 7 L は、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その１２）である。

[図7M]図 7 M は、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その１３）である。

[図8A]図 8 A は、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その１４）である。

[図8B]図 8 B は、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その１５）である。

[図8C]図 8 C は、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その１６）である。

[図8D]図 8 D は、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その１７）である。

[図8E]図 8 E は、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面

図（その１８）である。

[図8F]図８Ｆは、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その１９）である。

[図8G]図８Ｇは、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その２０）である。

[図8H]図８Ｈは、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その２１）である。

[図8I]図８Ｉは、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その２２）である。

[図8J]図８Ｊは、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その２３）である。

[図8K]図８Ｋは、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その２４）である。

[図8L]図８Ｌは、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を示す断面図（その２５）である。

発明を実施するための形態

[0007] [本開示が解決しようとする課題]

特許文献１に記載の炭化珪素半導体装置によれば、所期の目的は達成される。しかしながら、特許文献１に記載の炭化珪素半導体装置によっても近年の更なる絶縁破壊耐性の向上の要請に十分に応えることは困難である。

[0008] そこで、本開示は、絶縁破壊耐性を向上することができる炭化珪素半導体装置を提供することを目的とする。

[0009] [本開示の効果]

本開示によれば、絶縁破壊耐性を向上することができる。

[0010]

[本開示の実施形態の説明]

最初に本開示の実施態様を列記して説明する。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。本明細書中の結晶学的記載においては、個別面を ()、集合面を { } でそれぞれ示している。また結晶学上の指数が負であることは、通常、“ $\bar{}$ ” (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している。

[0011] 〔1〕 本開示の一態様に係る炭化珪素半導体装置は、主面を有する炭化珪素基板と、前記炭化珪素基板上のゲート絶縁膜と、前記ゲート絶縁膜上のゲート電極と、を有し、前記炭化珪素基板は、第1の導電型を有する第1の半導体層と、前記第1の半導体層上に設けられ第2の導電型を有する第2の半導体層と、前記第2の半導体層上に設けられ前記第2の半導体層によって前記第1の半導体層と分離され前記第1の導電型を有する第3の半導体層と、を有し、前記主面に第1の方向に延びるトレンチが設けられており、前記トレンチは、前記第1の半導体層からなる底面と、前記第3の半導体層および前記第2の半導体層を貫通して前記底面に連なる第1の側壁面と、前記第1の方向と垂直な第2の方向において前記第1の側壁面から離間し、前記第3の半導体層および前記第2の半導体層を貫通して前記底面に連なる第2の側壁面と、前記第3の半導体層および前記第2の半導体層を貫通して前記底面に連なり、前記第1の側壁面と前記第2の側壁面とに連なる第3の側壁面と、を有し、前記ゲート絶縁膜は、前記底面上に位置する底領域と、前記第1の側壁面上に位置する第1の側壁領域と、前記第2の側壁面上に位置する第2の側壁領域と、前記第3の側壁面上に位置する第3の側壁領域と、前記第3の半導体層の上面上に位置して前記第3の側壁領域につながる頂領域と、を有し、前記底領域の厚さ、前記第3の側壁領域の厚さおよび前記頂領域の厚さのいずれもが、前記第1の側壁領域の前記第2の半導体層上での最小の厚さおよび前記第2の側壁領域の前記第2の半導体層上での最小の厚さのいずれよりも大きい。

[0012] 第1の側壁面および第2の側壁面の近傍において第2の半導体層の一部がチャンネルとして機能する。トレンチ内にゲート電極が設けられている場合、トレンチの底の角部に電界が集中しやすいが、この炭化珪素半導体装置では

、ゲート絶縁膜の底領域の厚さが、第1の側壁領域および第2の側壁領域の第2の半導体層上での最小の厚さ、すなわち第2の半導体層のチャンネルとして機能する部分上のゲート絶縁膜の厚さよりも大きい。従って、トレンチの底の角部に電界が集中しても、優れた耐圧を得ることができる。トレンチ内にゲート電極が設けられている場合、トレンチの上縁の角部にも電界が集中しやすいが、この炭化珪素半導体装置では、ゲート絶縁膜の第3の側壁領域の厚さおよび頂領域の厚さが、第2の半導体層のチャンネルとして機能する部分上のゲート絶縁膜の厚さよりも大きい。従って、トレンチの上縁の角部に電界が集中しても、優れた耐圧を得ることができる。このため、絶縁破壊耐性を向上することができる。

[0013] 〔2〕 〔1〕において、前記第3の側壁領域および前記頂領域は、前記炭化珪素基板を直接覆う第1の絶縁膜と、前記第1の絶縁膜上に設けられた第2の絶縁膜と、を有し、前記第1の絶縁膜は第1の炭素原子濃度を有し、第2の絶縁膜は第2の炭素原子濃度を有し、前記第2の炭素原子濃度は前記第1の炭素原子濃度よりも小さくてもよい。炭素原子濃度が低い第2の絶縁膜を含むことで、より優れた絶縁破壊耐圧を得ることができる。

[0014] 〔3〕 〔2〕において、前記第2の絶縁膜は前記第1の絶縁膜より厚くてもよい。第2の絶縁膜が厚いことで、更に優れた絶縁破壊耐圧を得ることができる。

[0015] 〔4〕 〔2〕または〔3〕において、前記第1の側壁面は、前記第1の半導体層からなる第1の側面と、第2の半導体層からなる第2の側面と、第3の半導体層からなる第3の側面とを有し、前記第2の側壁面は、前記第1の半導体層からなる第4の側面と、第2の半導体層からなる第5の側面と、第3の半導体層からなる第6の側面とを有し、前記第1の絶縁膜および前記第2の絶縁膜は、前記底領域、前記第1の側壁領域および前記第2の側壁領域にも設けられており、前記第1の絶縁膜は、前記底面上に位置する第1の底部と、前記第1の側壁面上に位置する第1の側壁部と、前記第2の側壁面上に位置する第2の側壁部と、前記第3の側壁面上に位置する第3の側壁部

と、前記第3の半導体層の前記上面上に位置する第1の頂部と、を有し、前記第1の側壁部は前記第1～第3の側面のそれぞれの上に位置する第1～第3の領域を有し、前記第2の側壁部は前記第4～第6の側面のそれぞれの上に位置する第4～第6の領域を有し、前記第2の絶縁膜は、前記第1の底部上に位置する第2の底部と、前記第1の側壁部上に位置する第4の側壁部と、前記第2の側壁部上に位置する第5の側壁部と、前記第3の側壁部上に位置する第6の側壁部と、前記第1の頂部上に位置する第2の頂部と、を有し、前記第4の側壁部は、前記第2の底部につながった第1の下方端と、前記第1および第2の領域のいずれかの上に位置し前記第3の領域から離れた第1の上方端と、を有し、前記第5の側壁部は、前記第2の底部につながった第2の下方端と、前記第4および第5の領域のいずれかの上に位置し前記第6の領域から離れた第2の上方端と、を有し、前記第6の側壁部は、前記第2の底部につながった第3の下方端と、前記第2の頂部につながった第3の上方端と、を有してもよい。

[0016] ゲート絶縁膜は、第2の絶縁膜が設けられた部分で第2の絶縁膜が設けられていない部分よりも厚くなっている。そして、主に第2の底部と、第4の側壁部と、第5の側壁部とにより、トレンチの底の角部で優れた絶縁破壊耐性が得られ、主に第6の側壁部と、第2の頂部とにより、トレンチの上縁の角部で優れた絶縁破壊耐性が得られる。

[0017] [5] [1]～[4]において、前記第2の絶縁膜の厚さは100nm以上300nm以下であってもよい。第2の絶縁膜の厚さが100nm以上であることで、より優れた絶縁破壊耐性を得ることができる。第2の絶縁膜の厚さが300nm超であると、コストが過剰になるおそれがある。

[0018] [6] [1]～[5]において、前記第1の側壁面と前記第3の半導体層の前記上面との第1の交線と、前記第2の側壁面と前記第3の半導体層の前記上面との第2の交線とが互いに平行であってもよい。第1の交線と第2の交線とが互いに平行であることで、第1の側壁面および前記第2の側壁面の双方に優れた移動度を得られる面を用いやすい。

[0019] [7] [1] ~ [6] において、前記第3の側壁面と前記第3の半導体層の前記上面との第3の交線は円弧状であってもよい。第3の交線が円弧状であるとトレンチの上縁の角部に電界が集中しやすいが、電界が集中しても優れた絶縁破壊耐性を得ることができる。

[0020] [本開示の実施形態の詳細]

本開示の実施形態は、いわゆる縦型のMOSFET（炭化珪素半導体装置）に関する。図1および図2は、実施形態に係る炭化珪素半導体装置の構成を示す断面図である。図3は、実施形態に係る炭化珪素半導体装置におけるゲート絶縁膜の構成を示す斜視図である。図4は、実施形態に係る炭化珪素半導体装置におけるゲート絶縁膜の構成を示す平面図である。図5および図6は、図1の一部を拡大して示す断面図である。図1は、図2、図3および図4中のI-I線に沿った断面を示す。図2は、図1、図3および図4中のII-II線に沿った断面を示す。図5は、主に第1の絶縁膜の構成要素を示し、図6は、主に第2の絶縁膜の構成要素とゲート絶縁膜の寸法とを示す。

[0021] 図1および図2に示すように、実施形態に係る縦型のMOSFET 501は、エピタキシャル基板100と、ゲート絶縁膜200と、ゲート電極230と、層間絶縁膜203と、ソース電極221と、ドレイン電極211と、ソース配線222と、保護電極212とを有する。

[0022] エピタキシャル基板100は、炭化珪素から作られており、単結晶基板110およびその上に設けられたエピタキシャル層を有する。エピタキシャル基板100はエピタキシャル層側に主面111を有する。主面111は、たとえば(000-1)面または(000-1)面に対して8°未満のオフ角で傾斜した面である。オフ角は、6°以下であってもよいし、4°以下であってもよい。オフ角は、2°以上であってもよい。単結晶基板110およびエピタキシャル層は、たとえばポリタイプ4Hの六方晶炭化珪素である。単結晶基板110は、たとえば窒素(N)などのn型不純物を含みn型の導電型を有する。

[0023] エピタキシャル層は、 n^- 層 121 と、 p 型ボディ層 122 と、 n 領域 123 と、コンタクト領域 124 とを有する。 n^- 層 121 は、ドナーが添加されていることで n 型を有する。 n^- 層 121 へのドナーの添加は、イオン注入によってではなく、 n^- 層 121 のエピタキシャル成長時の不純物添加によって行われていることが好ましい。 n^- 層 121 のドナー濃度は、単結晶基板 110 のドナー濃度よりも低いことが好ましい。 n^- 層 121 のドナー濃度は、好ましくは $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、たとえば $8 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ である。 p 型ボディ層 122 は、 n^- 層 121 上に設けられており、アクセプタが添加されていることで p 型（第 2 の導電型）を有する。 p 型ボディ層 122 のアクセプタ濃度は、たとえば $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。 n 領域 123 は n 型を有する。 n 領域 123 は、 p 型ボディ層 122 上に設けられており、 p 型ボディ層 122 によって n^- 層 121 と分離されている。コンタクト領域 124 は p 型を有する。コンタクト領域 124 は、 p 型ボディ層 122 につながるように p 型ボディ層 122 の一部の上に形成されている。エピタキシャル基板 100 は炭化珪素基板の一例である。 n^- 層 121 は第 1 の半導体層の一例である。 p 型ボディ層 122 は第 2 の半導体層の一例である。 n 領域 123 は第 3 の半導体層の一例である。

[0024] 図 1～図 4 に示すように、エピタキシャル基板 100 の主面 111 に複数のトレンチ TR が設けられている。トレンチ TR は、たとえば主面 111 に平行な第 1 の方向に延びており、複数のトレンチ TR が、主面 111 および第 1 の方向に直交する第 2 の方向に並んでいる。トレンチ TR は、 n^- 層 121 からなる底面 BT を有する。トレンチ TR は、 n 領域 123 および p 型ボディ層 122 を貫通して底面 BT に連なる第 1 の側壁面 11 を有する。トレンチ TR は、主面 111 に平行な方向で第 1 の側壁面 11 から離間し、 n 領域 123 および p 型ボディ層 122 を貫通して底面 BT に連なる第 2 の側壁面 12 を有する。トレンチ TR は、 n 領域 123 および p 型ボディ層 122 を貫通して底面 BT に連なり、第 1 の側壁面 11 と第 2 の側壁面 12 とに連なる第 3 の側壁面 13 を有する。第 1 の側壁面 11 および第 2 の側壁面 12

はp型ボディ層122上においてチャネル面CH（図3）を含む。底面BTは、主面111とほぼ平行な平坦面である。具体的には、第1の側壁面11、第2の側壁面12および第3の側壁面13は主面111に対して傾斜している。これによりトレンチTRは開口側に向かって広がっている。第1の側壁面11および第2の側壁面12は、好ましくは、特にp型ボディ層122上において、所定の面方位の結晶面、たとえば面方位（0-33-8）の結晶面（特殊面）を有する。面方位（0-33-8）の結晶面は、優れた移動度を得られる結晶面である。

[0025] たとえば、第1の側壁面11とn領域123の上面123Aとの第1の交線CL1と、第2の側壁面12と上面123Aとの第2の交線CL3とが互いに平行であってもよい。第1の交線CL1と第2の交線CL2とが互いに平行であると、第1の側壁面11および第2の側壁面12の双方に優れた移動度を得られる面、たとえば上記の特殊面を用いやすい。また、第3の側壁面13と上面123Aとの第3の交線CL3が円弧状であってもよい。第3の交線CL3が円弧状であると、トレンチTRを形成しやすい。

[0026] 図5に示すように、第1の側壁面11は、n⁻層121、p型ボディ層122およびn領域123のそれぞれからなる第1～第3の側面SW1～SW3を有する。第2の側壁面12は、n⁻層121、p型ボディ層122およびn領域123のそれぞれからなる第4～第6の側面SW4～SW6を有する。図2に示すように、第3の側壁面13は、n⁻層121、p型ボディ層122およびn領域123のそれぞれからなる第7～第9の側面SW7～SW9を有する。

[0027] ゲート絶縁膜200はトレンチTR上に設けられている。ゲート絶縁膜200はトレンチTR内においてエピタキシャル基板100とゲート電極230とを隔てている。

[0028] 図1および図2に示すように、ゲート絶縁膜200は、底面BT上に位置する底領域300Bと、第1の側壁面11上に位置する第1の側壁領域301と、第2の側壁面12上に位置する第2の側壁領域302と、第3の側壁

面 1 3 上に位置する第 3 の側壁領域 3 0 3 と、n 領域 1 2 3 の上面 1 2 3 A 上に位置して第 3 の側壁領域 3 0 3 につながる頂領域 3 0 0 T と、を有する。

[0029] ゲート絶縁膜 2 0 0 は、第 1 ～第 3 の側壁面 1 1 ～1 3 および底面 B T の各々を直接覆う第 1 の絶縁膜 2 0 1 と、第 1 の絶縁膜 2 0 1 上に設けられた第 2 の絶縁膜 2 0 2 とを有する。第 1 および第 2 の絶縁膜 2 0 1, 2 0 2 のそれぞれは第 1 および第 2 の炭素原子濃度を有する。第 2 の炭素原子濃度は第 1 の炭素原子濃度よりも小さくてもよい。第 1 の炭素原子濃度は $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ より大きくてもよい。第 2 の炭素原子濃度は、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ より小さくてもよく、実質的に濃度がゼロであってもよい。

[0030] 図 1 および図 2 に示すように、第 1 の絶縁膜 2 0 1 は、底面 B T と第 1 の側壁面 1 1 とがなす角部 C R B 1 上に位置する部分と、底面 B T と第 2 の側壁面 1 2 とがなす角部 C R B 2 上に位置する部分と、底面 B T と第 3 の側壁面 1 3 とがなす角部 C R B 3 上に位置する部分と、第 3 の側壁面 1 3 と上面 1 2 3 A 面とがなす角部 C R T 上に位置する部分とを有する。具体的には、第 1 の絶縁膜 2 0 1 は、図 2 および図 5 に示すように、底面 B T 上に位置する第 1 の底部 3 1 0 B と、第 1 の側壁面 1 1 上に位置する第 1 の側壁部 3 1 1 と、第 2 の側壁面 1 2 上に位置する第 2 の側壁部 3 1 2 と、第 3 の側壁面 1 3 上に位置する第 3 の側壁部 3 1 3 と、上面 1 2 3 A 上に位置する第 1 の頂部 3 1 0 T とを有する。

[0031] 図 5 に示すように、第 1 の側壁部 3 1 1 は、第 1 ～第 3 の側面 S W 1 ～S W 3 のそれぞれの上に位置する第 1 ～第 3 の領域 4 1 1 ～4 1 3 を有する。第 2 の側壁部 3 1 2 は、第 4 ～第 6 の側面 S W 4 ～S W 6 のそれぞれの上に位置する第 4 ～第 6 の領域 4 1 4 ～4 1 6 を有する。図 2 に示すように、第 3 の側壁部 3 1 3 は、第 7 ～第 9 の側面 S W 7 ～S W 9 のそれぞれの上に位置する第 7 ～第 9 の領域 4 1 7 ～4 1 9 を有する。第 1 の絶縁膜 2 0 1 は、酸化膜であることが好ましく、エピタキシャル基板 1 0 0 のトレンチ T R の表面を熱酸化することによって得られたものがあることがより好ましい。

[0032] 図1および図2に示すように、第2の絶縁膜202は、第1の絶縁膜201を介して、角部CRB1上に位置する部分と、角部CRB2上に位置する部分と、角部CRB3上に位置する部分と、角部CRT上に位置する部分とを有する。具体的には、第2の絶縁膜202は、図2および図6に示すように、第1の底部310B上に位置する第2の底部320Bと、第1の側壁部311上に位置する第4の側壁部324と、第2の側壁部312上に位置する第5の側壁部325と、第3の側壁部313上に位置する第6の側壁部326と、第1の頂部310T上に位置する第2の頂部320Tとを有する。

[0033] 図6に示すように、第4の側壁部324は、第2の底部320Bにつながった第1の一方端E41と、第1および第2の領域411, 412（図5参照）のいずれかの上に位置し第3の領域413から離れた第1の他方端E42とを有する。第5の側壁部325は、第2の底部320Bにつながった第2の一方端E51と、第1および第2の領域411, 412（図5参照）のいずれかの上に位置し第3の領域413から離れた第2の他方端E52とを有する。第1の他方端E42および第2の他方端E52が第1の領域411と第2の領域412との境界上に位置してもよい。図2に示すように、第6の側壁部326は、第2の底部320Bにつながった第3の一方端E61と、第2の頂部320Tにつながった第3の他方端E62とを有する。第2の絶縁膜202は、酸化珪素、窒化珪素、およびリン珪酸ガラスの少なくともいずれかから作られていてもよい。第2の絶縁膜202は、シリコンを含み炭素を含まない膜の熱酸化膜であってもよく、たとえば二酸化珪素（ SiO_2 ）から作られている。

[0034] ゲート絶縁膜200の底領域300Bに、第1の絶縁膜201の第1の底部310Bと、第2の絶縁膜202の第2の底部320Bとが含まれる。ゲート絶縁膜200の第1の側壁領域301に、第1の絶縁膜201の第1の側壁部311と、第2の絶縁膜202の第4の側壁部324とが含まれる。ゲート絶縁膜200の第2の側壁領域302に、第1の絶縁膜201の第2の側壁部312と、第2の絶縁膜202の第5の側壁部325とが含まれる。

。ゲート絶縁膜200の第3の側壁領域303に、第1の絶縁膜201の第3の側壁部313と、第2の絶縁膜202の第6の側壁部326とが含まれる。ゲート絶縁膜200の頂領域300Tに、第1の絶縁膜201の第1の頂部310Tと、第2の絶縁膜202の第2の頂部320Tとが含まれる。

[0035] 底領域300Bは厚さ d_0 を有する。第1の側壁領域301および第2の側壁領域302は、第1の絶縁膜201を有しかつ第2の絶縁膜202を有しない部分、すなわち第1の絶縁膜201のみからなる部分を有し、この部分は厚さ d_1 を有する。第1の側壁領域301および第2の側壁領域302は、第1の絶縁膜201および第2の絶縁膜202を有する部分を含み、この部分は厚さ d_2 を有する。厚さ d_2 の部分は、 n -層121上のみに位置してもよく、更に p 型ボディ層122の一部の上に位置してもよい。厚さ d_1 は、第1の側壁領域301の p 型ボディ層122上での最小の厚さおよび第2の側壁領域302の p 型ボディ層122上での最小の厚さである。よって、第1の側壁領域301の p 型ボディ層122上での最小の厚さ d_1 と、第2の側壁領域302の p 型ボディ層122上での最小の厚さ d_1 がそれぞれ存在することになるが、両者は同一である場合が多い。第3の側壁領域303は、第1の絶縁膜201および第2の絶縁膜202を有し、この部分は厚さ d_3 を有する。頂領域300Tは、第1の絶縁膜201および第2の絶縁膜202を有し、この部分は厚さ d_4 を有する。少なくとも、厚さ d_0 が厚さ d_1 より大きく、厚さ d_3 が厚さ d_1 より大きく、厚さ d_4 が d_1 より大きい。厚さ d_0 が厚さ d_4 と等しくてもよく、厚さ d_3 が厚さ d_0 および厚さ d_4 と等しくてもよい。好ましくは、厚さ d_0 は厚さ d_2 以上である。好ましくは、厚さ d_2 は厚さ d_1 の1.5倍より大きい。好ましくは、厚さ d_2 は厚さ d_1 の5倍より小さい。なお、厚さ d_1 が2つ存在する場合には、厚さ d_0 、 d_3 又は d_4 が厚さ d_1 よりも大きいというのは、厚さ d_0 、 d_3 又は d_4 がいずれの厚さ d_1 よりも厚いことを意味する。

[0036] ゲート電極230はトレンチTR内に設けられている。具体的にはゲート電極230はゲート絶縁膜200を介してトレンチTR上に設けられている

。ゲート電極230は、少なくとも第1の絶縁膜201の第2の領域412と第5の領域415とに接している。ゲート電極230の上面は、ゲート絶縁膜200の頂領域300Tの上面とほぼ同じ高さになっている。層間絶縁膜203は、ゲート絶縁膜200のうちn領域123の上面上にまで延在する部分とゲート電極230とを覆うように設けられている。

[0037] ソース電極221は、層間絶縁膜203を貫通してn領域123およびコンタクト領域124の各々に接している。ソース配線222はソース電極221に接するようにソース電極221および層間絶縁膜203上に設けられている。ドレイン電極211は、エピタキシャル基板100の、トレンチTRが設けられた面と反対の面の上に設けられている。保護電極212はドレイン電極211を被覆している。

[0038] 次に、実施形態に係るMOSFET501の製造方法について説明する。図7A～図7Mおよび図8A～図8Lは、実施形態に係るMOSFET501の製造方法を示す断面図である。図7A～図7Mは、図1に示す断面の変化を示し、図8A～図8Lは、図2に示す断面の変化を示す。

[0039] まず、図7Aおよび図8Aに示すように、単結晶基板110上にn⁻層121がエピタキシャル成長により形成される。こ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(SiH₄)とプロパン(C₃H₈)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(H₂)を用いた化学気相成長(Chemical Vapor Deposition: CVD)法により行うことができる。また、このときドナー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。次に、n⁻層121上のp型ボディ層122と、p型ボディ層122上のn領域123とが形成される。具体的には、n⁻層121の上面にイオン注入が行われる。p型ボディ層122を形成するためのイオン注入においては、たとえばアルミニウム(Al)などのアクセプタがイオン注入される。またn領域123を形成するためのイオン注入においては、たとえばリン(P)などのドナーがイオン注入される。これにより、n⁻層121と、p型ボディ層122と、n領域123とを有するエピタキシャル基板100が形成

される。なおイオン注入に代わり、不純物の添加をともなうにエピタキシャル成長が用いられてもよい。次に、イオン注入によってコンタクト領域124が形成される。次に、イオン注入により添加された不純物を活性化するための活性化熱処理が行われる。この熱処理の温度は、好ましくは1500℃以上1900℃以下であり、たとえば1700℃程度である。熱処理の時間は、たとえば30分程度である。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Ar雰囲気である。以上のようにエピタキシャル基板100が準備される。

[0040] 次に、図7Bおよび図8Bに示すように、エピタキシャル基板100上に、n領域123を部分的に露出する開口部を有するマスク401が形成される。開口部はトレンチTR（図1）の位置に対応して形成される。マスク401としては、たとえば、熱酸化によって形成されたシリコン酸化膜を用いることができる。

[0041] 次に、図7Cおよび図8Cに示すように、マスク401の開口部において、n領域123と、p型ボディ層122と、n⁻層121の一部とがエッチングにより除去される。エッチングの方法としては、たとえば反応性イオンエッチング（Reactive Ion Etching：RIE）、特に誘導結合プラズマ（Inductive Coupled Plasma：ICP）RIEを用いることができる。具体的には、たとえば反応ガスとしてSF₆またはSF₆とO₂との混合ガスを用いたICP-RIEを用いることができる。このようなエッチングにより、トレンチTR（図1～図6）が形成されるべき領域に、側壁が単結晶基板110の主表面に対してほぼ垂直な内面SVを有する凹部TQを形成することができる。

[0042] 次に、マスク401を用いてエピタキシャル基板100がエッチングされる。具体的には、エピタキシャル基板100に対して、凹部TQの内面SVにおいて熱エッチングが行われる。熱エッチングは、たとえば、少なくとも1種類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、エピタキシャル基板100を加熱することによって行い得る。少なくとも1種類以上のハロゲン原子は、塩素（Cl）原子およびフッ素（F）原子の少なくとも

いずれかを含む。この雰囲気は、たとえば、 Cl_2 、 BCl_3 、 SF_6 、または CF_4 である。たとえば、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、熱処理温度を、たとえば 700°C 以上 1000°C 以下として、熱エッチングが行われる。なお、反応ガスは、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 (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°C 以上 1000°C 以下とした場合、 SiC のエッチング速度はたとえば約 $70\text{ }\mu\text{m}/\text{時}$ になる。また、この場合に、酸化珪素から作られたマスク 401 は、 SiC に対する選択比が極めて大きいので、 SiC のエッチング中に実質的にエッチングされない。

[0043] 図 7 D および図 8 D に示すように、上記の熱エッチングによりエピタキシャル基板 100 に、第 1 ～ 第 3 の側壁面 11 ～ 13 と、底面 B T とを有するトレンチ T R が形成される。トレンチ T R の形成の際、エピタキシャル基板 100 は、矢印 S E で示すようにマスク 401 の開口部からサイドエッチングされるようにエッチングされる。またこの熱エッチングの際、第 1 の側壁面 11 と第 2 の側壁面 12 との上、特にその p 型ボディ層 122 からなる部分の上に、特殊面が自己形成される。

[0044] 次に、図 7 E および図 8 E に示すように、底面 B T、第 1 ～ 第 3 の側壁面 11 ～ 13 および上面 123 A の各々を直接覆う第 1 の絶縁膜 201 が形成される。言い換えれば、第 1 の絶縁膜 201 は、底面 B T 上に直接位置する部分と、第 1 ～ 第 3 の側壁面 11 ～ 13 上に直接位置する部分と、上面 123 A 上に直接位置する部分とを有する。第 1 の絶縁膜 201 の形成は、底面 B T、第 1 ～ 第 3 の側壁面 11 ～ 13 および上面 123 A の熱酸化によって行ない得る。

[0045] 次に、図 7 F および図 8 F に示すように、第 1 の絶縁膜 201 上にシリコン膜 209 が形成される。シリコン膜 209 の形成は、たとえば化学気相成長 (CVD) 法により行ない得る。

[0046] 次に、図 7 G および図 8 G に示すように、第 3 の側壁面 13 および上面 1

23Aの第2の絶縁膜202（図1～図6）が形成されるべき領域内のシリコン膜209上に、第1のレジスト層402Aが形成される。第1のレジスト層402Aは、第1の側壁面11および第2の側壁面12の上に第1の絶縁膜201を介して形成されたシリコン膜209が露出するように形成される。第1のレジスト層402Aの形成はレジスト液の塗布、露光および現像によって行ない得る。なお、図7Gに示す断面に第1のレジスト層402Aは設けられないが、第1の側壁面11および第2の側壁面12と第1のレジスト層402Aとの位置関係を明確にするために、第1のレジスト層402A（ハッチングなし）を図7Gに示してある。

[0047] 次に、図7Hおよび図8Hに示すように、第1の絶縁膜201およびシリコン膜209を介してトレンチTRを埋めるように、シリコン膜209と第1のレジスト層402Aとの上に第2のレジスト層402Bが形成される。第2のレジスト層402Bの形成はレジスト液の塗布によって行ない得る。

[0048] 次に、第2のレジスト層402B、第1のレジスト層402Aおよびシリコン膜209の一部がエッチングされる。このエッチングは、エッチングマスクを用いることなく行なわれ得る。すなわち、いわゆるエッチバックによって行なわれ得る。

[0049] 上記のエッチングにより、第1の側壁面11と第2の側壁面12との間では、図7Iに示すように、トレンチTRの一部のみを埋めるように底面BT上に第2のレジスト層402Bおよびシリコン膜209が残存する。また、上記のエッチングにより、第3の側壁面13および上面123Aの第2の絶縁膜202（図1～図6）が形成されるべき領域内では、図8Iに示すように、第3の側壁面13および上面123A上に第1のレジスト層402Aおよびシリコン膜209が残存する。シリコン膜209は、第1の底部310B上に位置する第2の底部220Bと、第1の側壁部311上に位置する第4の側壁部224と、第2の側壁部312上に位置する第5の側壁部225と、第3の側壁部313上に位置する第6の側壁部226と、第1の頂部310T上に位置する第2の頂部220Tと、を有する。第4の側壁部224

は、第2の底部220Bにつながった第1の一方端E41と、第1の領域411と第2の領域412との境界上に位置し第3の領域413から離れた第1の他方端E42とを有する。第5の側壁部225は、第2の底部220Bにつながった第2の一方端E51と、第1の領域411と第2の領域412との境界上に位置し第3の領域413から離れた第2の他方端E52とを有する。第6の側壁部226は、第2の底部220Bにつながった第3の一方端E61と、第2の頂部220Tにつながった第3の他方端E62とを有する。

[0050] 次に、図7J及び図8Jに示すように、第2のレジスト層402Bと第1のレジスト層402Aとが除去される。

[0051] 次に、図7Kに示すように、第1の絶縁膜201のうちシリコン膜209によって覆われておらず露出した部分がエッチングにより除去される。第3の側壁部313及び第1の頂部310Tはシリコン膜209によって覆われているため、そのまま残存する（図8J参照）。

[0052] 次に、図7Lおよび図8Kに示すように、第1の絶縁膜201およびシリコン膜209が設けられたトレンチTRが熱酸化される。これにより、シリコン膜209と、トレンチTRの第1～第3の側壁面11～13のうち露出された部分とが熱酸化される。シリコン膜209は、たとえば800℃以上1150℃以下で熱酸化される。この熱酸化によりシリコン膜209から第2の絶縁膜202が形成される。第1および第2の絶縁膜201, 202はゲート絶縁膜200を構成する。

[0053] 好ましくは、シリコン膜209は、たとえば950℃以上1100℃以下で熱酸化される。シリコン膜209を950℃より低い温度で酸化した場合、シリコン膜209が酸化されて形成された二酸化珪素膜の粘性流動による応力緩和が働かないため、粒界付近のシリコンが表面側に移動し、シリコン膜209の表面で結晶粒が成長して突起を生成すると考えられる。そこで、シリコン膜209を950℃以上で酸化することにより、上記突起の生成を抑制することができるので、第2の絶縁膜202の表面荒れを効果的に抑制

することができる。一方、シリコン膜209を1100℃より高い温度で酸化すると、二酸化珪素からなる第1の絶縁膜201とシリコン膜209とが化学反応を起こし酸化珪素を形成するため第2の絶縁膜202の形状を維持することが困難となる。そこで、シリコン膜209を1100℃以下で酸化することにより、酸化珪素の蒸気圧の上昇を抑制することで、第2の絶縁膜202の形状を効果的に維持することができる。

[0054] 第2の絶縁膜202を形成する際に、第4の側壁部224と第5の側壁部225とが十分な温度で加熱されることで、第1の他方端E41および第2の他方端E51の角が丸まり、ゲート絶縁膜200の厚さの変化が緩やかになる。この加熱の温度は、1300℃以上1400℃以下が好ましい。この加熱を酸化雰囲気中に行なうことで、第1の絶縁膜201の膜厚をより厚くし得る。

[0055] 次に、図7M及び図8Lに示すように、トレンチTR上にゲート絶縁膜200を介してゲート電極230が形成される。ゲート電極230の形成方法は、たとえば、導体またはドープトポリシリコンの成膜と化学機械的研磨（Chemical Mechanical Polishing：CMP）とによって行い得る。

[0056] 次に、再び図1、図2、図5および図6を参照して、ゲート電極230の露出面を覆うようにゲート電極230およびゲート絶縁膜200上に層間絶縁膜203が形成される。層間絶縁膜203およびゲート絶縁膜200に開口部が形成されるようにエッチングが行われる。この開口部により、主面111においてn領域123およびコンタクト領域124の各々が露出される。次に、主面111においてn領域123およびコンタクト領域124の各々に接するソース電極221が形成される。ソース配線222、ドレイン電極211および保護電極212が形成される。これにより、MOSFET501が得られる。

[0057] 本実施形態によれば、図1に示すように、第1の側壁面11および第2の側壁面12の近傍においてp型ボディ層122の一部がチャネルとして機能する。トレンチTR内にゲート電極230が設けられているため、角部CR

B 1 および C R B 2 に電界が集中しやすいが、図 6 に示すように、M O S F E T 5 0 1 では、厚さ d_0 が厚さ d_1 よりも大きい。従って、角部 C R B 1 および C R B 2 に電界が集中しても、優れた耐圧を得ることができる。また、図 2 に示すように、第 3 の側壁面 1 3 と上面 1 2 3 A 面とがなす角部 C R T にも電界が集中しやすいが、M O S F E T 5 0 1 では、第 3 の側壁領域 3 0 3 の厚さ d_3 および頂領域 3 0 0 T の厚さ d_4 が厚さ d_1 よりも大きい。従って、角部 C R T に電界が集中しても、優れた耐圧を得ることができる。このため、M O S F E T 5 0 1 によれば、絶縁破壊耐性を向上することができる。

[0058] 第 1 および第 2 の絶縁膜 2 0 1, 2 0 2 のそれぞれは第 1 および第 2 の炭素原子濃度を有し、第 2 の炭素原子濃度は第 1 の炭素原子濃度よりも小さいことが好ましい。これにより、第 2 の絶縁膜 2 0 2 は低い炭素原子濃度によって、高い絶縁破壊耐性を有する。よって M O S F E T 5 0 1 は大きい耐圧を有する。なお、第 1 の絶縁膜 2 0 1 は、たとえば炭化珪素からなるトレンチ T R の底面 B T および第 1 ~ 第 3 の側壁面 1 1 ~ 1 3 を熱酸化することにより形成されるため、炭化珪素に由来する炭素を多く含む。一方、第 2 の絶縁膜 2 0 2 は、たとえばシリコン膜 2 0 9 を酸化することにより形成されたため、第 2 の絶縁膜 2 0 2 の炭素原子濃度は、第 1 の絶縁膜 2 0 1 の炭素原子濃度よりも小さくなる。

[0059] 第 1 の炭素原子濃度は $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ より大きく、第 2 の炭素原子濃度は $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ より小さいことが好ましい。これにより、第 2 の絶縁膜 2 0 2 の炭素原子濃度が十分に低くされる。よって M O S F E T 5 0 1 の耐圧をより大きくすることができる。

[0060] 第 2 の絶縁膜 2 0 2 は第 1 の絶縁膜 2 0 1 より厚いことが好ましい。これにより、より優れた絶縁破壊耐性を得ることができる。第 1 の絶縁膜 2 0 1 の厚さは 3 0 nm 以上 8 0 nm 以下であってもよい。第 2 の絶縁膜 2 0 2 の厚さは 1 0 0 nm 以上 3 0 0 nm 以下であってもよい。第 2 の絶縁膜 2 0 2 の厚さが 1 0 0 nm 以上であることで、より優れた絶縁破壊耐性を得ることができる。第 2 の絶縁膜 2 0 2 の厚さが 3 0 0 nm 超であると、コストが過

剰になるおそれがある。より好ましくは第2の絶縁膜202の厚さは150 nm以上250 nm以下である。

[0061] 第2の絶縁膜202は、酸化珪素、窒化珪素、およびリン珪酸ガラスの少なくともいずれかから作られていることが好ましい。これによりMOSFET 501の耐圧をより大きくすることができる。

[0062] 第2の絶縁膜202は、シリコンを含み炭素を含まない膜の熱酸化膜であることが好ましい。これによりMOSFET 501の耐圧をより大きくすることができる。

[0063] 本開示に係る炭化珪素半導体装置はMOSFETに限定されず、たとえば、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ（Insulated Gate Bipolar Transistor：IGBT）であってもよい。

[0064] 以上、実施形態について詳述したが、特定の実施形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された範囲内において、種々の変形および変更が可能である。

符号の説明

- [0065] 11：第1の側壁面
12：第2の側壁面
13：第3の側壁面
100：エピタキシャル基板
110：単結晶基板
111：主面
121：n層
122：p型ボディ層
123：n領域
123A：上面
124：コンタクト領域
200：ゲート絶縁膜
201：第1の絶縁膜

202 : 第2の絶縁膜
203 : 層間絶縁膜
209 : シリコン膜
211 : ドレイン電極
212 : 保護電極
220B : 第2の底部
220T : 第2の頂部
221 : ソース電極
222 : ソース配線
224 : 第4の側壁部
225 : 第5の側壁部
226 : 第6の側壁部
230 : ゲート電極
300B : 底領域
300T : 頂領域
301 : 第1の側壁領域
302 : 第2の側壁領域
303 : 第3の側壁領域
310B : 第1の底部
310T : 第1の頂部
311 : 第1の側壁部
312 : 第2の側壁部
313 : 第3の側壁部
320B : 第2の底部
320T : 第2の頂部
324 : 第4の側壁部
325 : 第5の側壁部
326 : 第6の側壁部

4 0 1 : マスク

4 0 2 A : 第 1 のレジスト層

4 0 2 B : 第 2 のレジスト層

4 1 1 : 第 1 の領域

4 1 2 : 第 2 の領域

4 1 3 : 第 3 の領域

4 1 4 : 第 4 の領域

4 1 5 : 第 5 の領域

4 1 6 : 第 6 の領域

4 1 7 : 第 7 の領域

4 1 8 : 第 8 の領域

4 1 9 : 第 9 の領域

5 0 1 : M O S F E T

B T : 底面

C H : チャネル面

C L 1 : 第 1 の交線

C L 2 : 第 2 の交線

C L 3 : 第 3 の交線

C R B 1、C R B 2、C R B 3、C R T : 角部

E 4 1 : 第 1 の一方端

E 4 2 : 第 1 の他方端

E 5 1 : 第 2 の一方端

E 5 2 : 第 2 の他方端

E 6 1 : 第 3 の一方端

E 6 2 : 第 3 の他方端

S E : 矢印

S V ; 内面

S W 1 : 第 1 の側面

SW 2 : 第 2 の側面

SW 3 : 第 3 の側面

SW 4 : 第 4 の側面

SW 5 : 第 5 の側面

SW 6 : 第 6 の側面

SW 7 : 第 7 の側面

SW 8 : 第 8 の側面

SW 9 : 第 9 の側面

T Q : 凹部

T R : トレンチ

請求の範囲

[請求項1]

主面を有する炭化珪素基板と、

前記炭化珪素基板上のゲート絶縁膜と、

前記ゲート絶縁膜上のゲート電極と、

を有し、

前記炭化珪素基板は、

第1の導電型を有する第1の半導体層と、

前記第1の半導体層上に設けられ第2の導電型を有する第2の半導体層と、

前記第2の半導体層上に設けられ前記第2の半導体層によって前記第1の半導体層と分離され前記第1の導電型を有する第3の半導体層と、

を有し、

前記主面に第1の方向に沿って延びるトレンチが設けられており、

前記トレンチは、

前記第1の半導体層からなる底面と、

前記第3の半導体層および前記第2の半導体層を貫通して前記底面に連なる第1の側壁面と、

前記第1の方向と垂直な第2の方向において前記第1の側壁面から離間し、前記第3の半導体層および前記第2の半導体層を貫通して前記底面に連なる第2の側壁面と、

前記第1の方向に沿って延びる前記トレンチの端部を形成し、前記第3の半導体層および前記第2の半導体層を貫通して前記底面に連なり、前記第1の側壁面と前記第2の側壁面とに連なる第3の側壁面と、

を有し、

前記ゲート絶縁膜は、

前記底面上に位置する底領域と、

前記第 1 の側壁面上に位置する第 1 の側壁領域と、
前記第 2 の側壁面上に位置する第 2 の側壁領域と、
前記第 3 の側壁面上に位置する第 3 の側壁領域と、
前記第 3 の半導体層の上面上に位置して前記第 3 の側壁領域につながる頂領域と、
を有し、

前記底領域の厚さ、前記第 3 の側壁領域の厚さおよび前記頂領域の厚さのいずれもが、前記第 1 の側壁領域の前記第 2 の半導体層上での最小の厚さおよび前記第 2 の側壁領域の前記第 2 の半導体層上での最小の厚さのいずれよりも大きい炭化珪素半導体装置。

[請求項2]

前記第 3 の側壁領域および前記頂領域は、
前記炭化珪素基板を直接覆う第 1 の絶縁膜と、
前記第 1 の絶縁膜上に設けられた第 2 の絶縁膜と、
を有し、

前記第 1 の絶縁膜は第 1 の炭素原子濃度を有し、前記第 2 の絶縁膜は第 2 の炭素原子濃度を有し、前記第 2 の炭素原子濃度は前記第 1 の炭素原子濃度よりも小さい請求項 1 に記載の炭化珪素半導体装置。

[請求項3]

前記第 2 の絶縁膜は前記第 1 の絶縁膜より厚い請求項 2 に記載の炭化珪素半導体装置。

[請求項4]

前記第 1 の側壁面は、前記第 1 の半導体層からなる第 1 の側面と、第 2 の半導体層からなる第 2 の側面と、第 3 の半導体層からなる第 3 の側面とを有し、

前記第 2 の側壁面は、前記第 1 の半導体層からなる第 4 の側面と、第 2 の半導体層からなる第 5 の側面と、第 3 の半導体層からなる第 6 の側面とを有し、

前記第 1 の絶縁膜および前記第 2 の絶縁膜は、前記底領域、前記第 1 の側壁領域および前記第 2 の側壁領域にも設けられており、
前記第 1 の絶縁膜は、

前記底面上に位置する第 1 の底部と、
前記第 1 の側壁面上に位置する第 1 の側壁部と、
前記第 2 の側壁面上に位置する第 2 の側壁部と、
前記第 3 の側壁面上に位置する第 3 の側壁部と、
前記第 3 の半導体層の前記上面上に位置する第 1 の頂部と、
を有し、

前記第 1 の側壁部は前記第 1 の側面上に位置する第 1 の領域と、前記第 2 の側面上に位置する第 2 の領域と、前記第 3 の側面上に位置する第 3 の側面とを有し、

前記第 2 の側壁部は前記第 4 の側面上に位置する第 4 の領域と、前記第 5 の側面上に位置する第 5 の領域と、前記第 6 の側面上に位置する第 6 の領域とを有し、

前記第 2 の絶縁膜は、

前記第 1 の底部上に位置する第 2 の底部と、
前記第 1 の側壁部上に位置する第 4 の側壁部と、
前記第 2 の側壁部上に位置する第 5 の側壁部と、
前記第 3 の側壁部上に位置する第 6 の側壁部と、
前記第 1 の頂部上に位置する第 2 の頂部と、
を有し、

前記第 4 の側壁部は、

前記第 2 の底部につながった第 1 の下方端と、
前記第 1 および第 2 の領域のいずれかの上に位置し前記第 3 の領域から離れた第 1 の上方端と、
を有し、

前記第 5 の側壁部は、

前記第 2 の底部につながった第 2 の下方端と、
前記第 4 および第 5 の領域のいずれかの上に位置し前記第 6 の領域から離れた第 2 の上方端と、

を有し、

前記第 6 の側壁部は、

前記第 2 の底部につながった第 3 の下方端と、

前記第 2 の頂部につながった第 3 の上方端と、

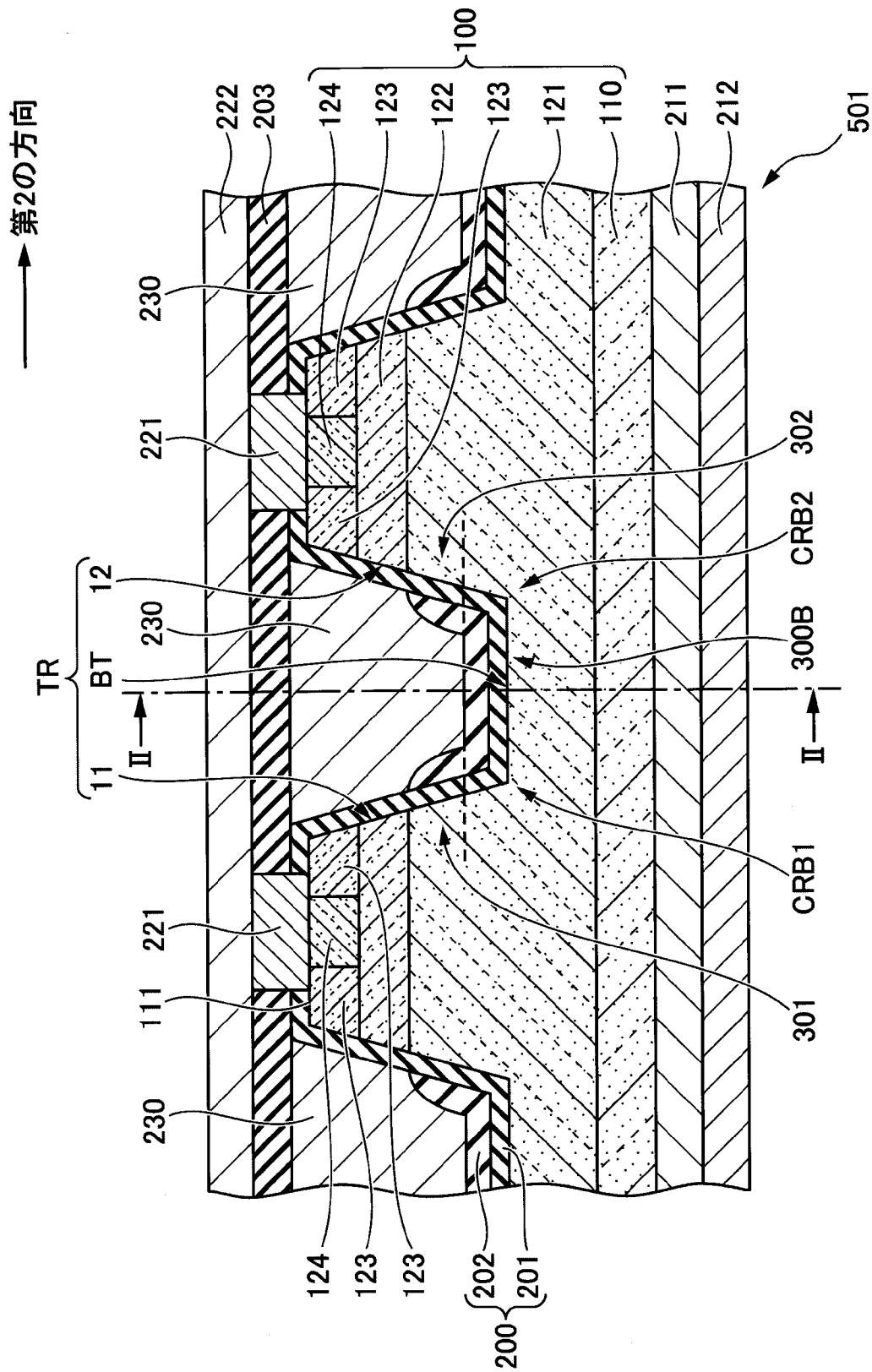
を有する請求項 2 または請求項 3 に記載の炭化珪素半導体装置。

[請求項 5] 前記第 2 の絶縁膜の厚さは 100 nm 以上 300 nm 以下である請求項 2 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。

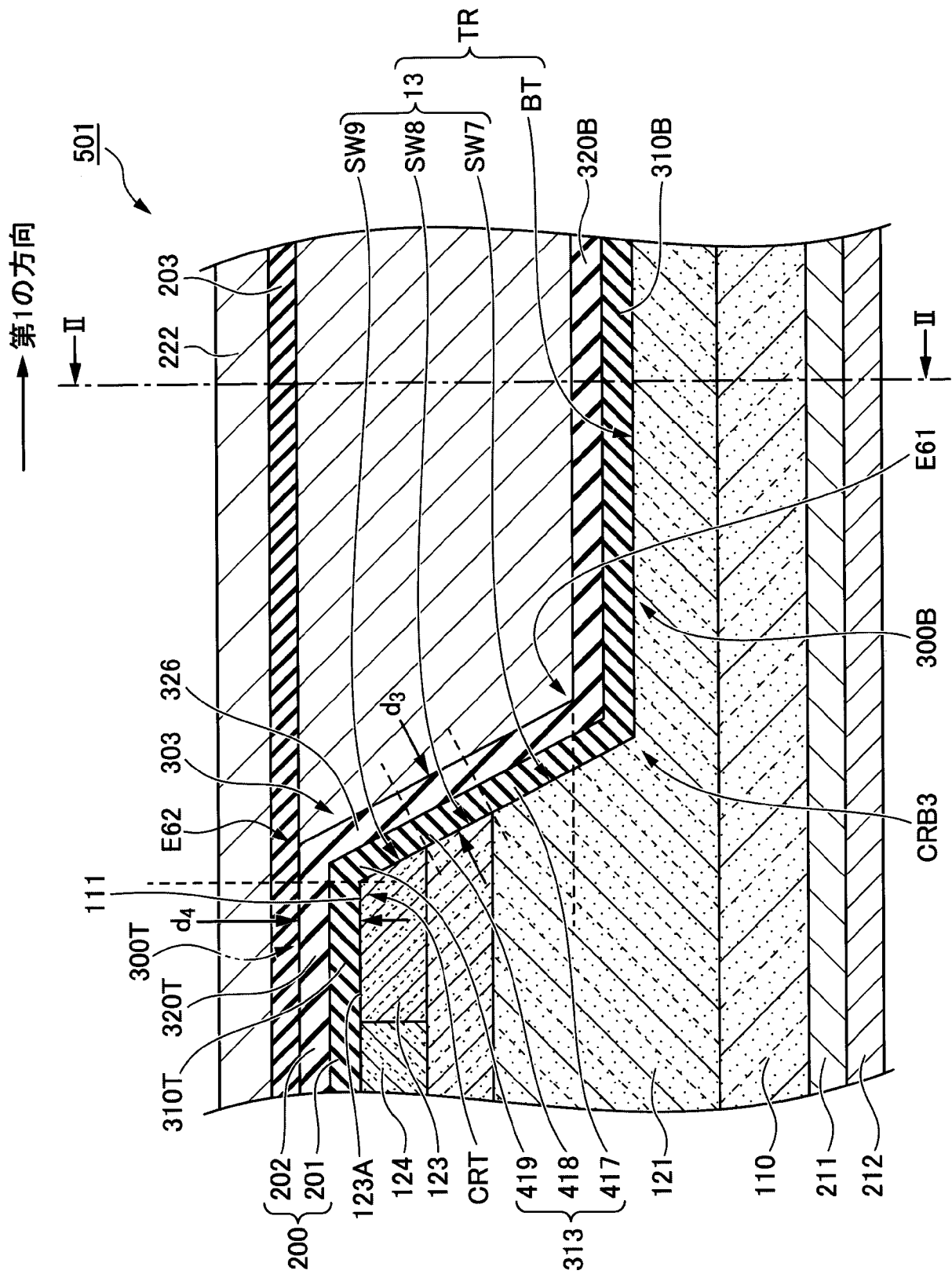
[請求項 6] 前記第 1 の側壁面と前記第 3 の半導体層の前記上面との第 1 の交線と、前記第 2 の側壁面と前記第 3 の半導体層の前記上面との第 2 の交線とが互いに平行である請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の炭化珪素半導体装置。

[請求項 7] 前記第 3 の側壁面と前記第 3 の半導体層の前記上面との第 3 の交線は円弧状である請求項 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。

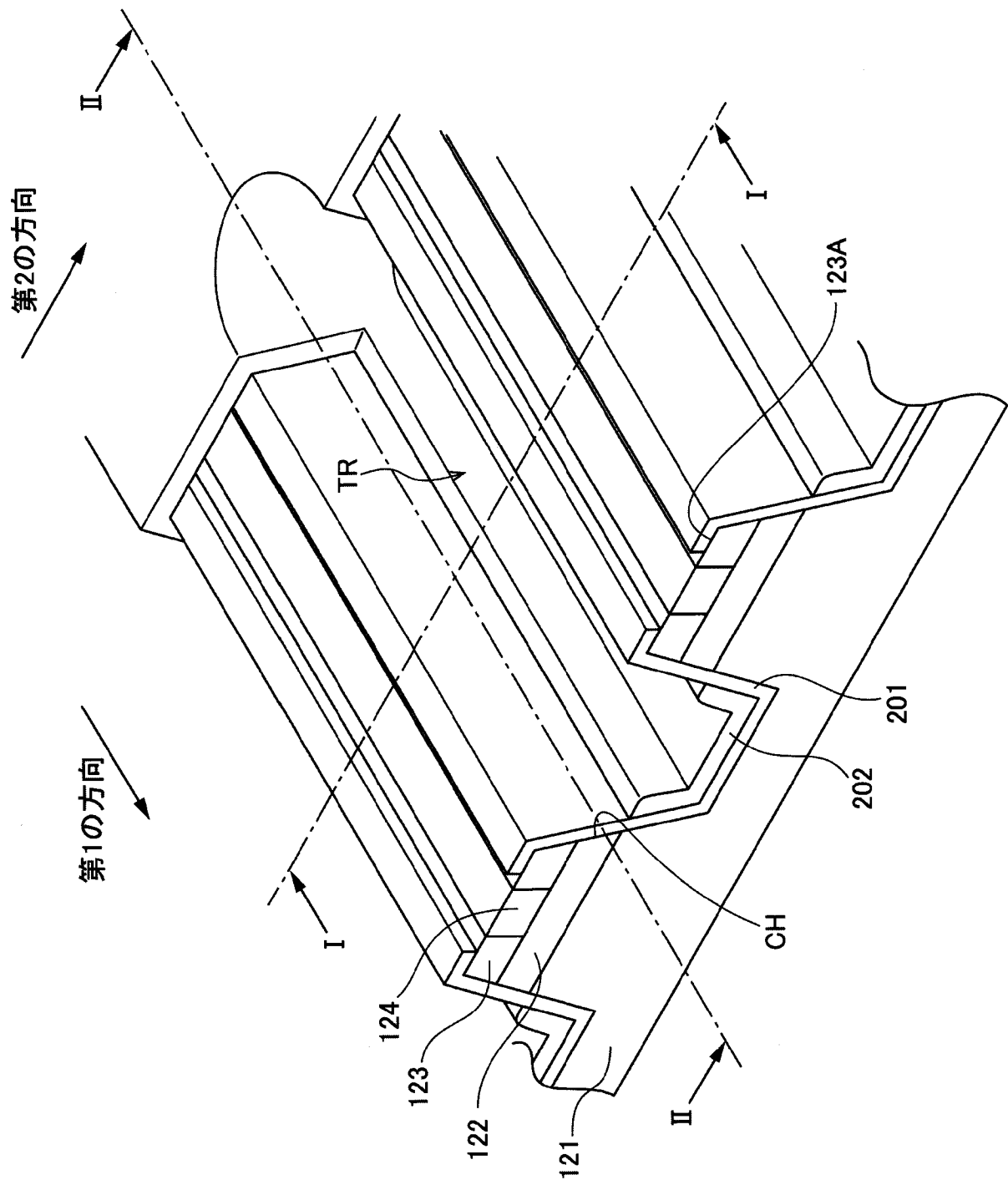
[図1]

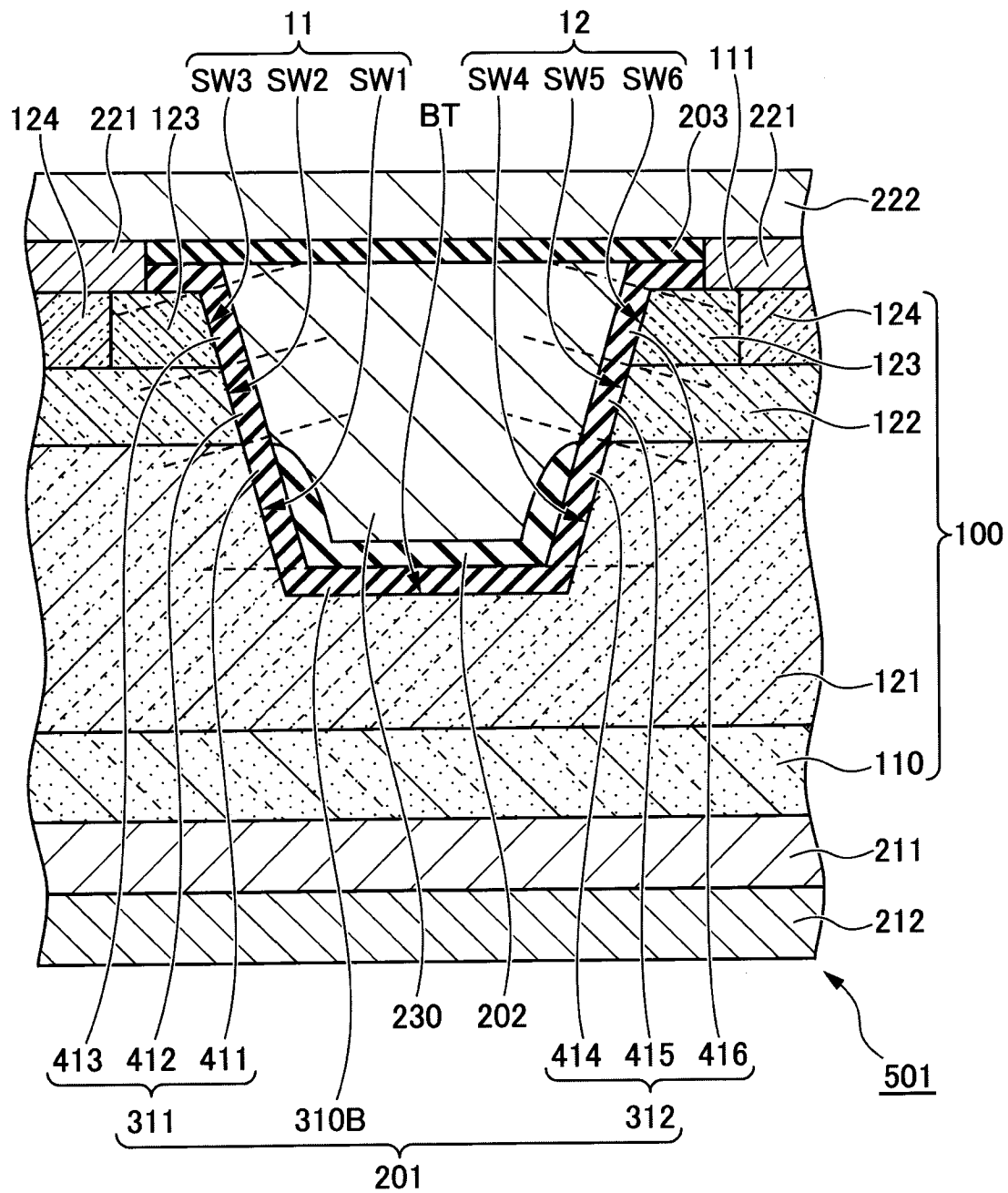


[図2]

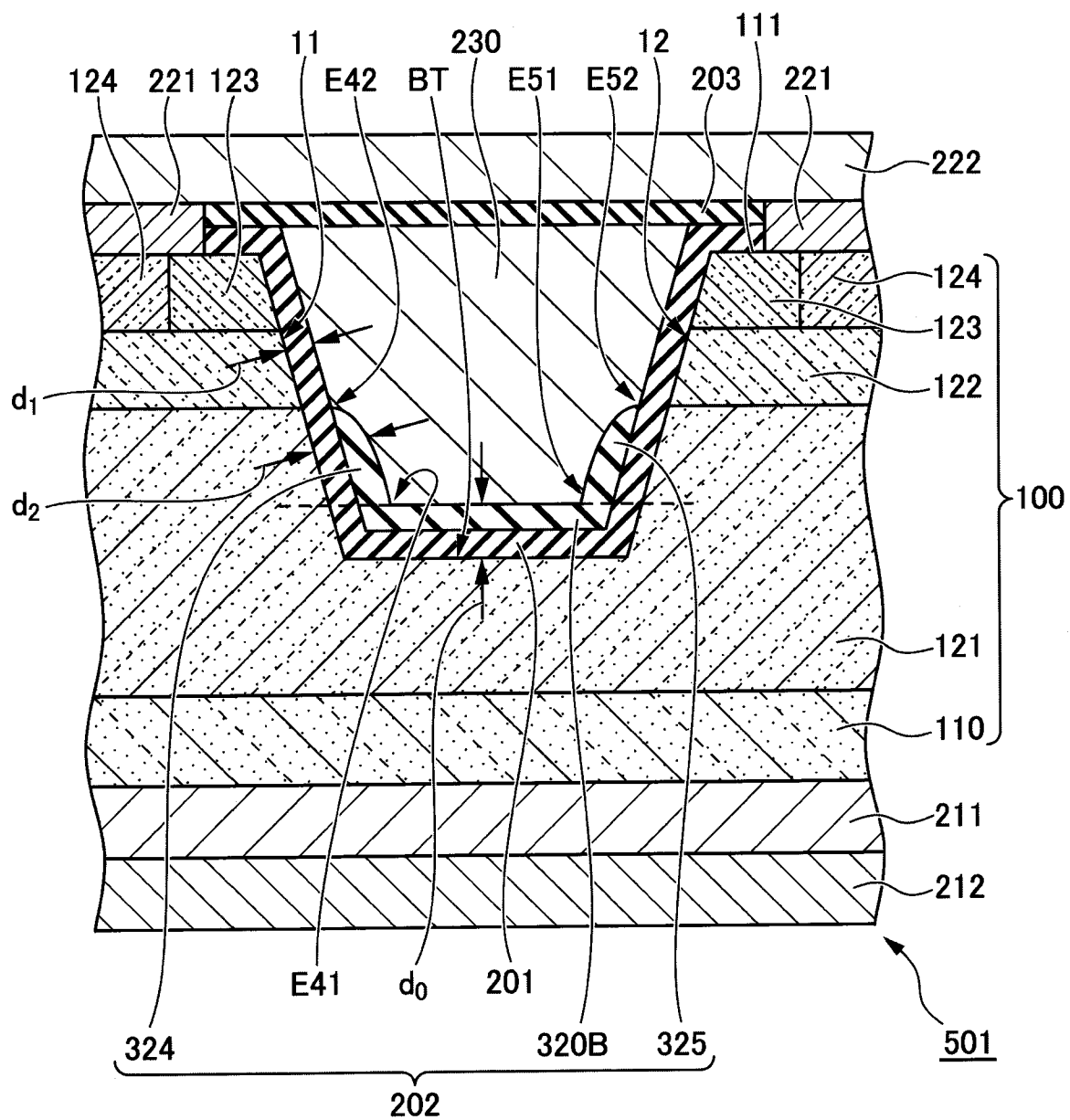


[図3]

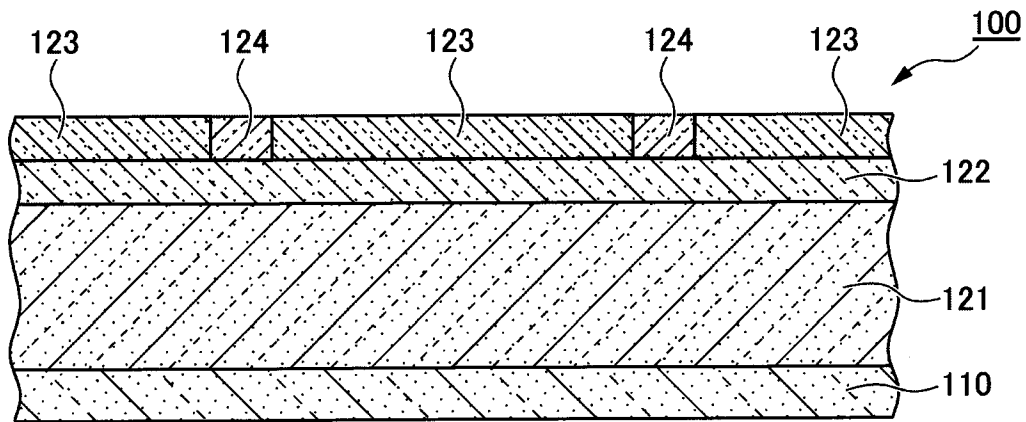




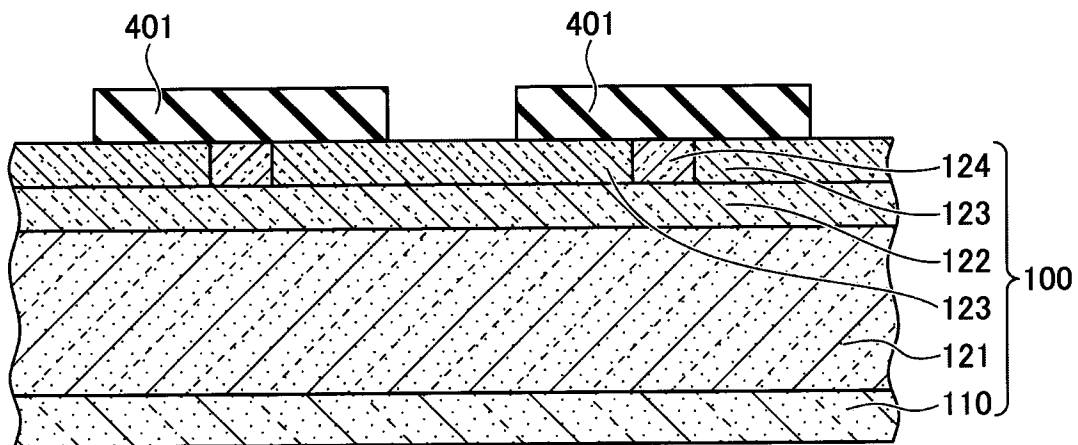
[図6]



[図7A]

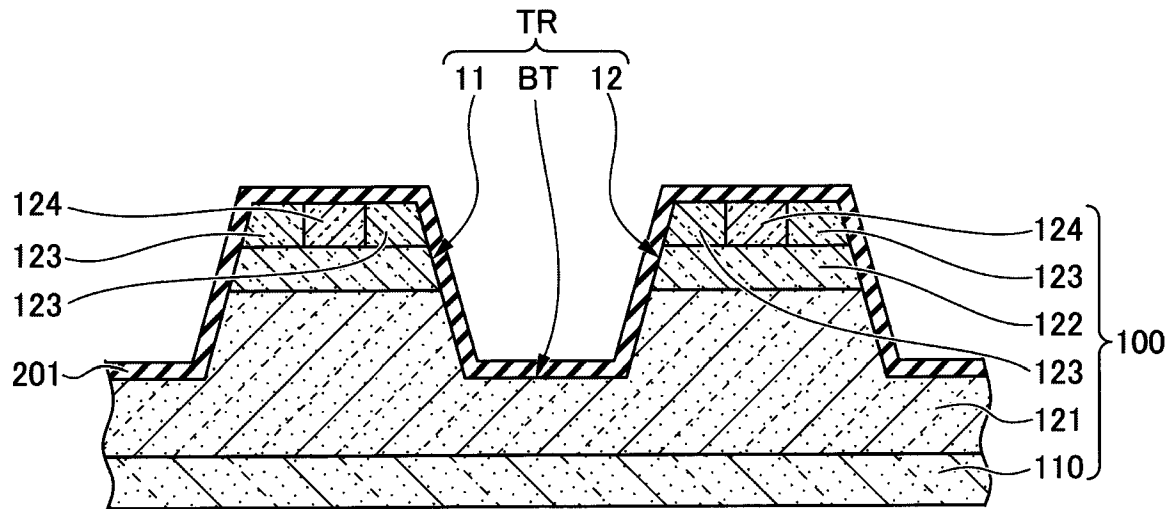


[図7B]

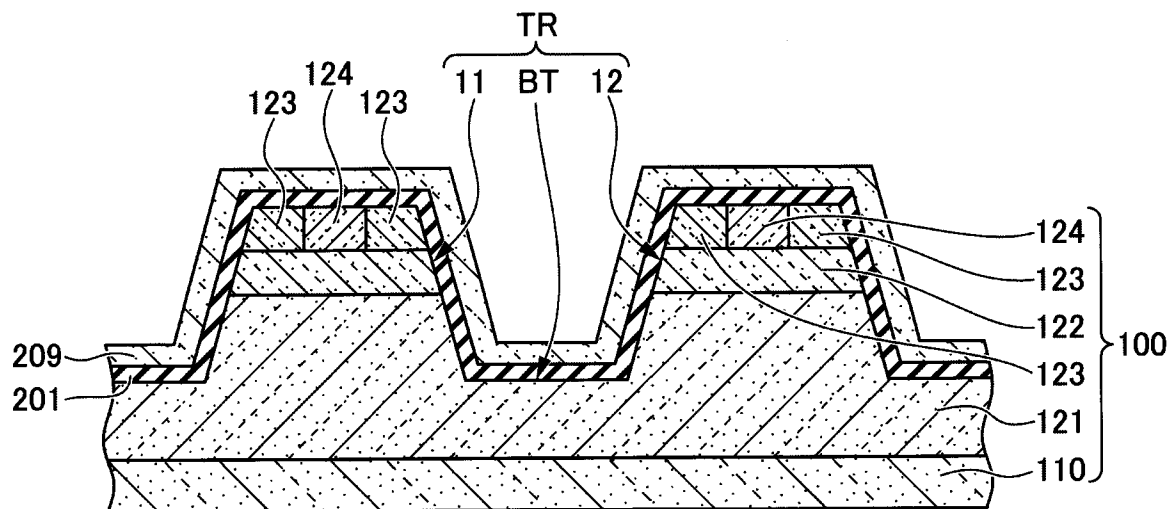


[illegible]

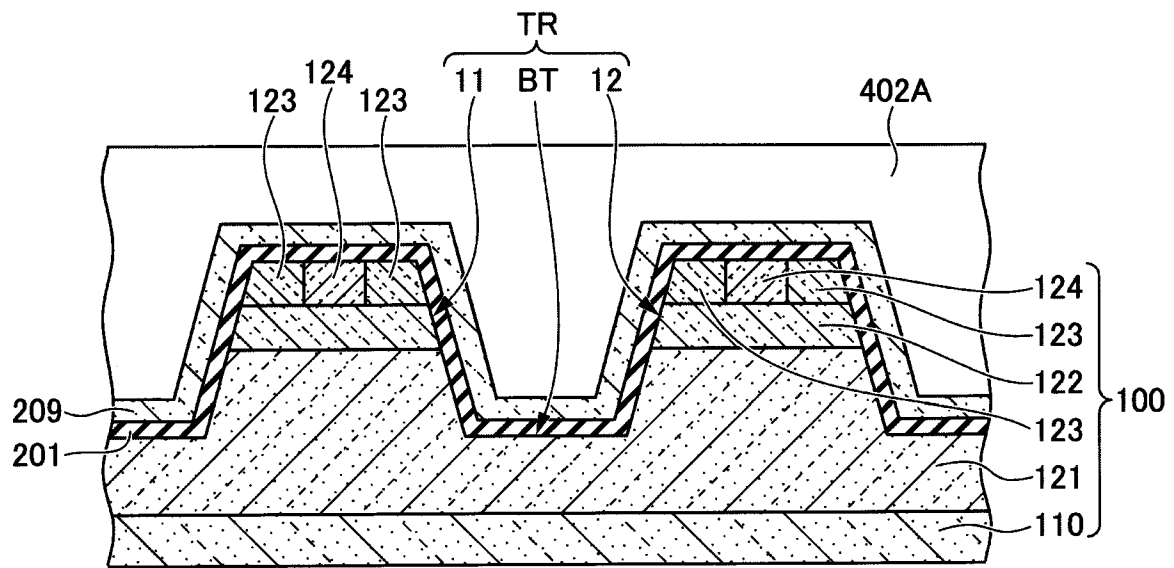
[図7E]



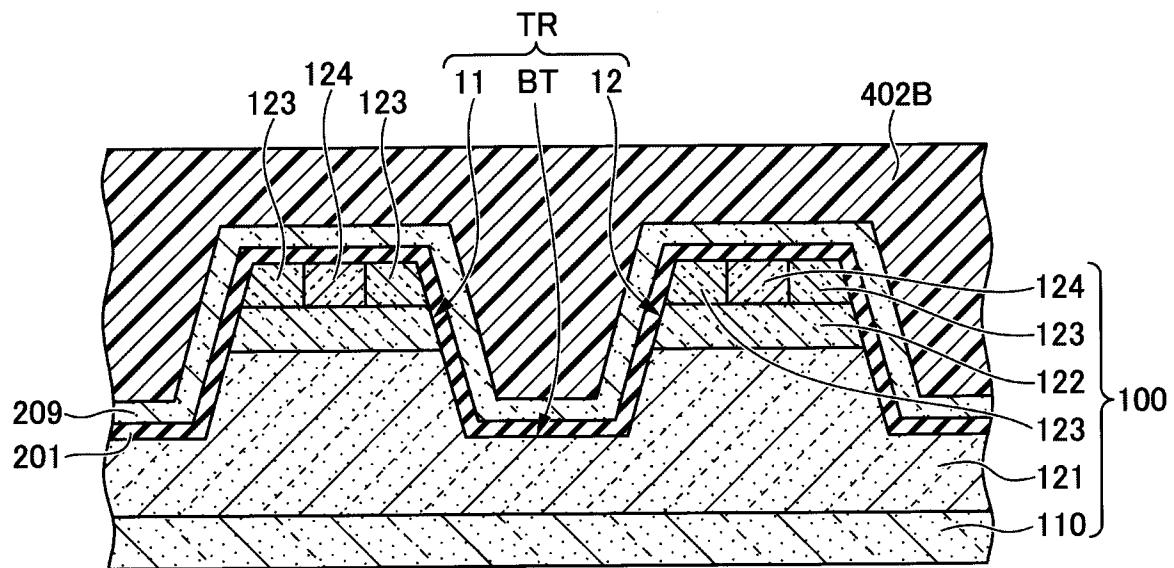
[図7F]



[図7G]



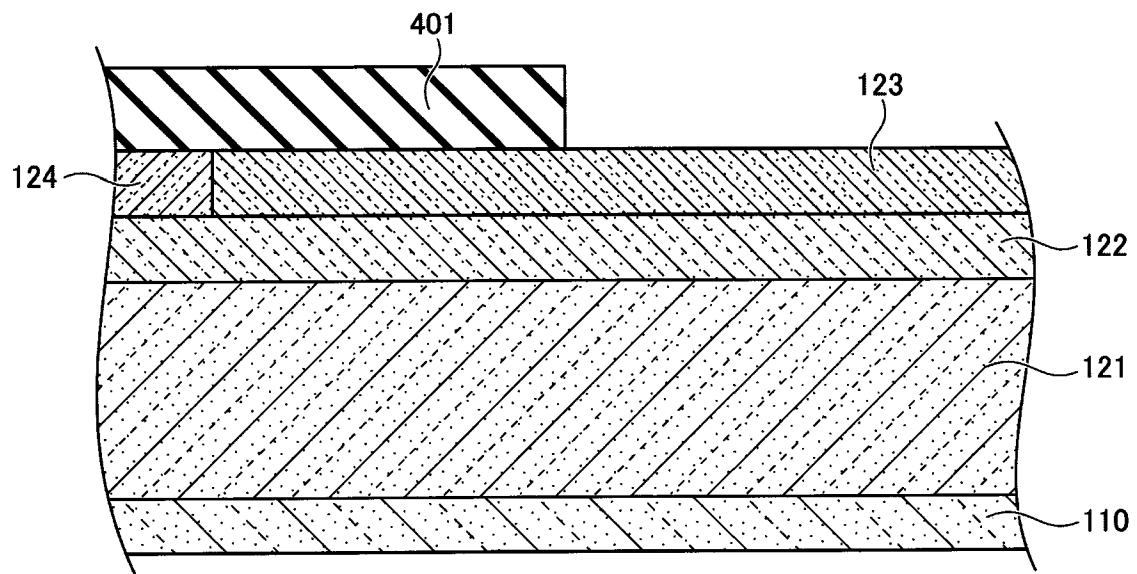
[図7H]



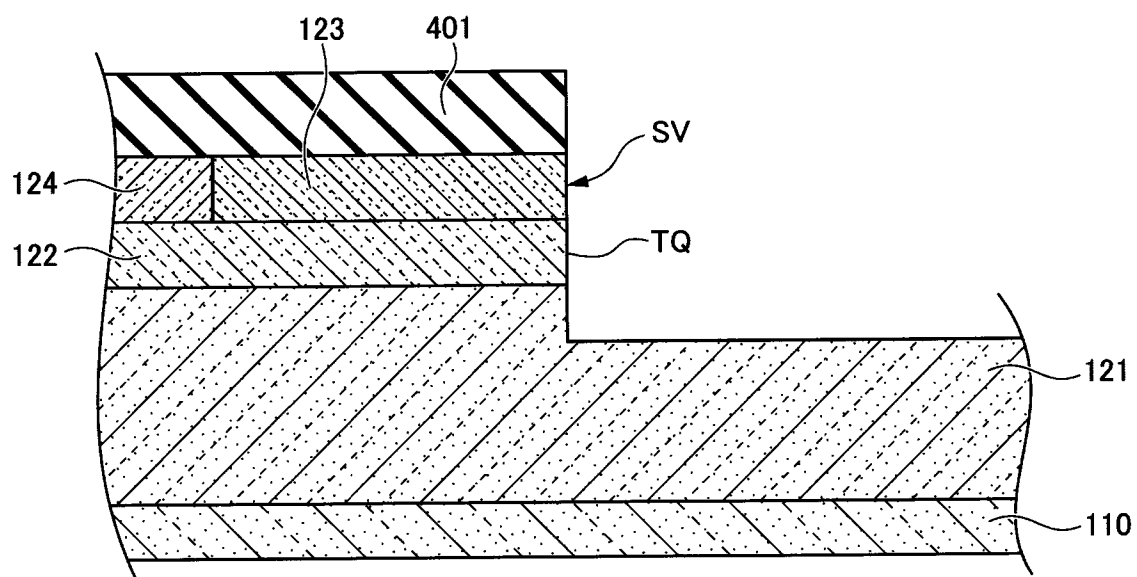
[illegible][illegible]

[illegible][illegible]

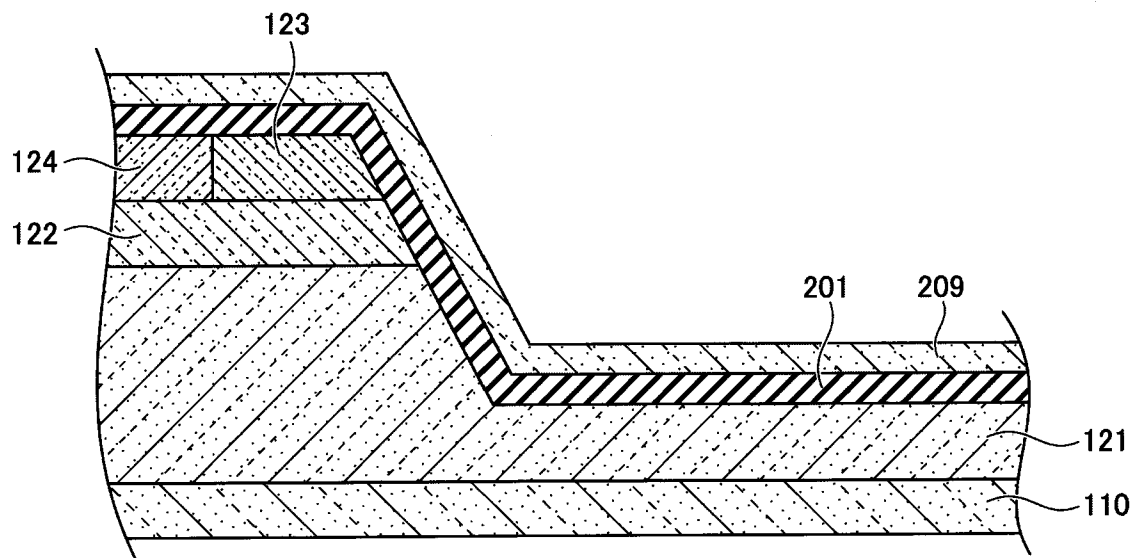
[図8B]



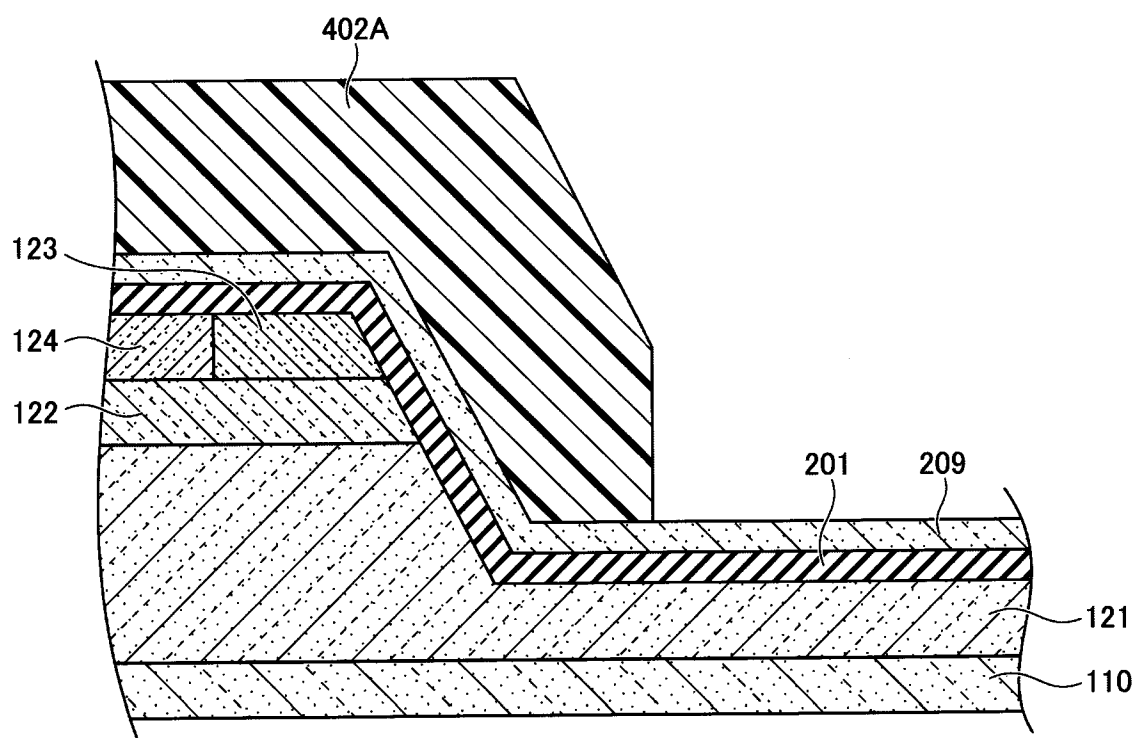
[図8C]



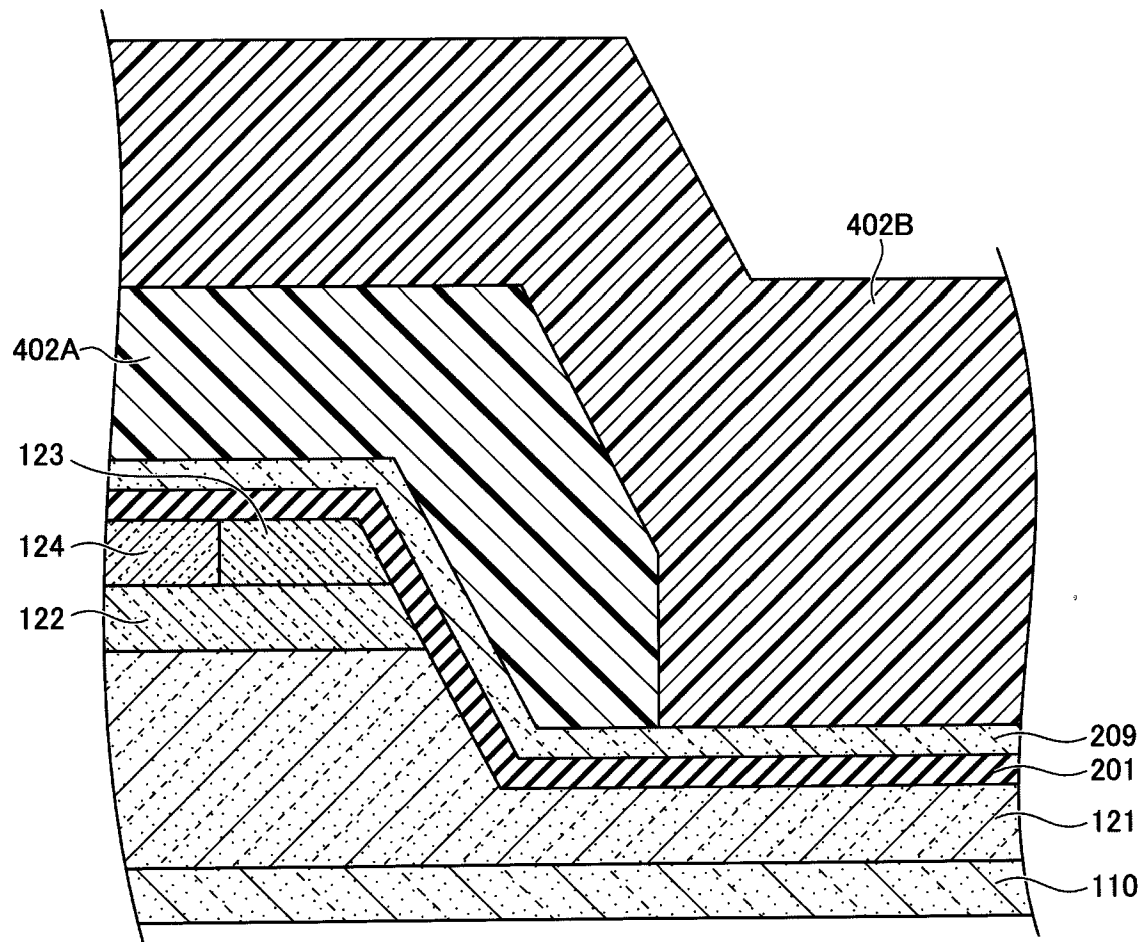
[図8F]



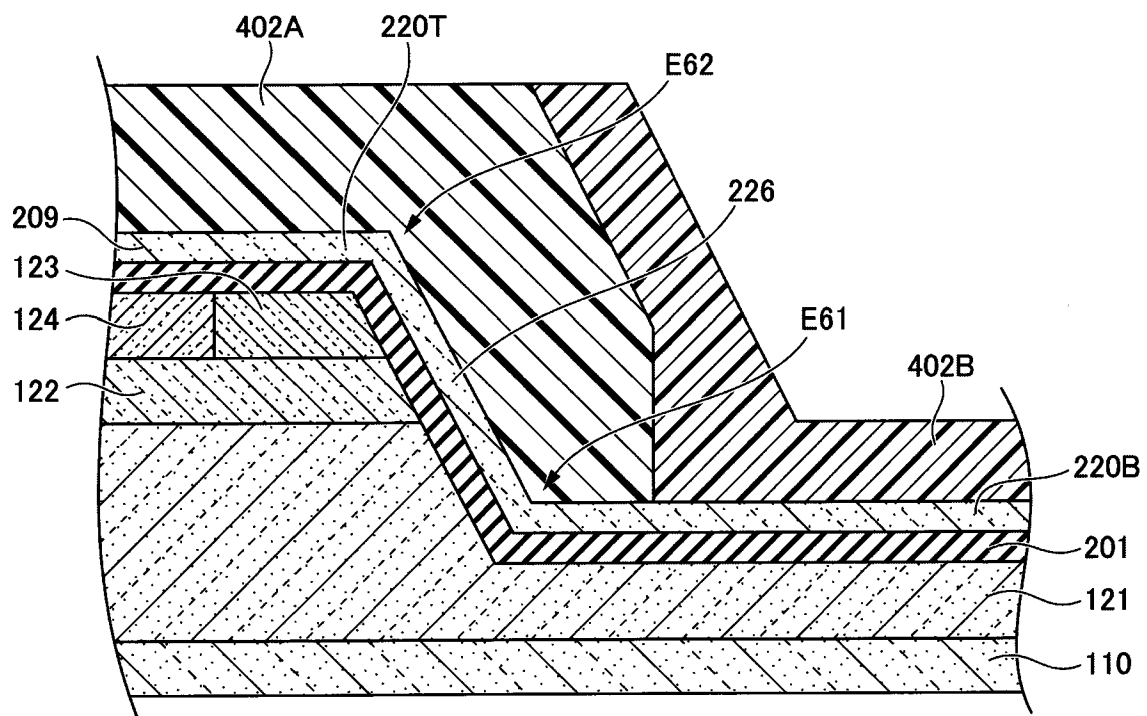
[図8G]



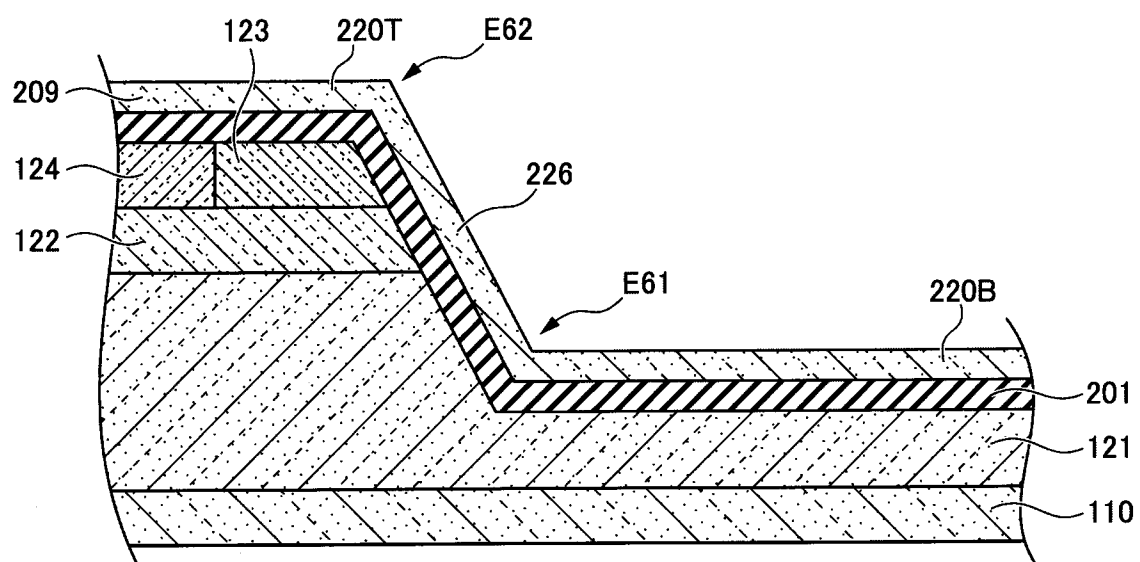
[図8H]



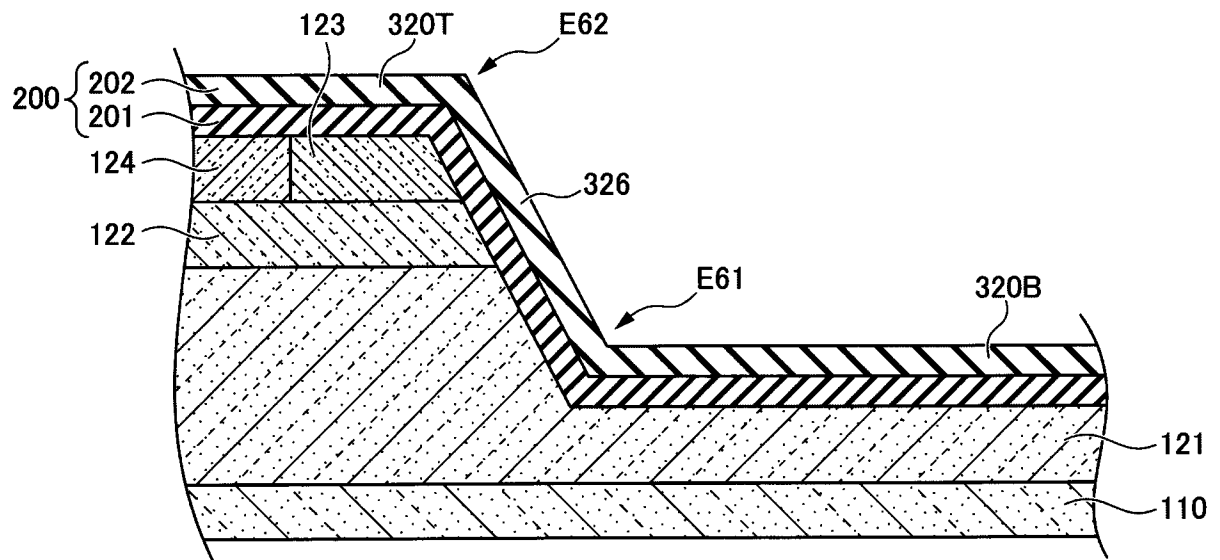
[図8I]



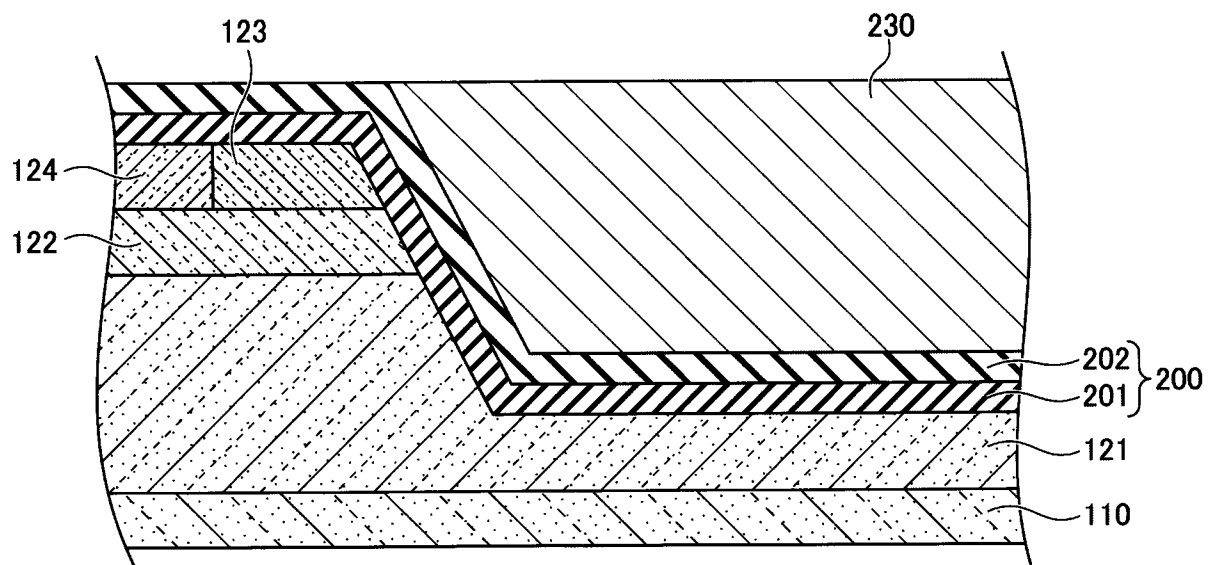
[図8J]



[図8K]



[図8L]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/029300

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 29/78(2006.01)i; H01L 29/12(2006.01)i; H01L 29/739(2006.01)i; H01L 21/336(2006.01)i

FI: H01L29/78 652K; H01L29/78 652T; H01L29/78 653A; H01L29/78 652F; H01L29/78 658F; H01L29/78 658E; H01L29/78 658G; H01L29/78 655A

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)

H01L29/78; H01L29/12; H01L29/739; H01L21/336

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	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

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 Y A	WO 2012/127821 A1 (PANASONIC CORP.) 27 September 2012 (2012-09-27) paragraphs [0055]-[0076], [0086], [0091], [0099], [0189], fig. 1(a), (c), (d), 43(a)	1, 6, 7 2, 3 4, 5
Y A	WO 2014/148130 A1 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 25 September 2014 (2014-09-25) paragraphs [0045]-[0046], [0048]-[0054], fig. 1, 4, 5	2, 3 1, 4-7
A	JP 2016-164906 A (TOYOTA GOSEI CO., LTD.) 08 September 2016 (2016-09-08) paragraphs [0022], [0034]-[0061], [0108], fig. 2, 3	1-7

☐ 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
19 October 2020 (19.10.2020)

Date of mailing of the international search report
02 November 2020 (02.11.2020)

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/JP2020/029300

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2012/127821 A1	27 Sep. 2012	US 2013/0306982 A1 paragraphs [0099]- [0120], [0130], [0135], [0143], [0233], fig. 1(a), (c), (d), 43(a)	
WO 2014/148130 A1	25 Sep. 2014	US 2016/0005826 A1 paragraphs [0081]- [0082], [0084]- [0090], fig. 1, 4, 5 US 2017/0229305 A1 DE 112014001539 T5 CN 105074933 A	
JP 2016-164906 A	08 Sep. 2016	US 2016/0260832 A1 paragraphs [0024], [0047]-[0074], [0128], fig. 2, 3 CN 105938795 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01L 29/78(2006.01)i; H01L 29/12(2006.01)i; H01L 29/739(2006.01)i; H01L 21/336(2006.01)i FI: H01L29/78 652K; H01L29/78 652T; H01L29/78 653A; H01L29/78 652F; H01L29/78 658F; H01L29/78 658E; H01L29/78 658G; H01L29/78 655A																							
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）） H01L29/78; H01L29/12; H01L29/739; H01L21/336 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 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2020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 - 2020年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2020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 - 2020年																						
日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年																						
日本国登録実用新案公報	1994 - 2020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 2012/127821 A1（パナソニック株式会社）27.09.2012（2012 - 09 - 27） 段落0055-0076, 0086, 0091, 0099, 0189, 図1(a), (c), (d), 43(a)</td> <td>1, 6, 7</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td></td> <td>2, 3</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> <td>4, 5</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>WO 2014/148130 A1（住友電気工業株式会社）25.09.2014（2014 - 09 - 25） 段落0045-0046, 0048-0054, 図1, 4, 5</td> <td>2, 3</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> <td>1, 4-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2016-164906 A（豊田合成株式会社）08.09.2016（2016 - 09 - 08） 段落0022, 0034-0061, 0108, 図2, 3</td> <td>1-7</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 2012/127821 A1（パナソニック株式会社）27.09.2012（2012 - 09 - 27） 段落0055-0076, 0086, 0091, 0099, 0189, 図1(a), (c), (d), 43(a)	1, 6, 7	Y		2, 3	A		4, 5	Y	WO 2014/148130 A1（住友電気工業株式会社）25.09.2014（2014 - 09 - 25） 段落0045-0046, 0048-0054, 図1, 4, 5	2, 3	A		1, 4-7	A	JP 2016-164906 A（豊田合成株式会社）08.09.2016（2016 - 09 - 08） 段落0022, 0034-0061, 0108, 図2, 3	1-7
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 2012/127821 A1（パナソニック株式会社）27.09.2012（2012 - 09 - 27） 段落0055-0076, 0086, 0091, 0099, 0189, 図1(a), (c), (d), 43(a)	1, 6, 7																					
Y		2, 3																					
A		4, 5																					
Y	WO 2014/148130 A1（住友電気工業株式会社）25.09.2014（2014 - 09 - 25） 段落0045-0046, 0048-0054, 図1, 4, 5	2, 3																					
A		1, 4-7																					
A	JP 2016-164906 A（豊田合成株式会社）08.09.2016（2016 - 09 - 08） 段落0022, 0034-0061, 0108, 図2, 3	1-7																					
☐ 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 19.10.2020		国際調査報告の発送日 02.11.2020																					
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/JP2020/029300

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2012/127821	A1	27.09.2012	US 2013/0306982 A1 段落0099-0120, 0130, 0135, 0143, 0233, 図1(a), (c), (d), 43(a)	
WO	2014/148130	A1	25.09.2014	US 2016/0005826 A1 段落0081-0082, 0084-0090, 図1, 4, 5 US 2017/0229305 A1 DE 112014001539 T5 CN 105074933 A	
JP	2016-164906	A	08.09.2016	US 2016/0260832 A1 段落0024, 0047-0074, 0128, 図2, 3 CN 105938795 A	