

(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
2022年9月29日(29.09.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/201719 A1

(51) 国際特許分類:

H01L 29/868 (2006.01) *H01L 29/12* (2006.01)
H01L 21/329 (2006.01) *H01L 29/78* (2006.01)
H01L 21/336 (2006.01) *H01L 29/861* (2006.01)
H01L 29/06 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2021/048603

(22) 国際出願日: 2021年12月27日(27.12.2021)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

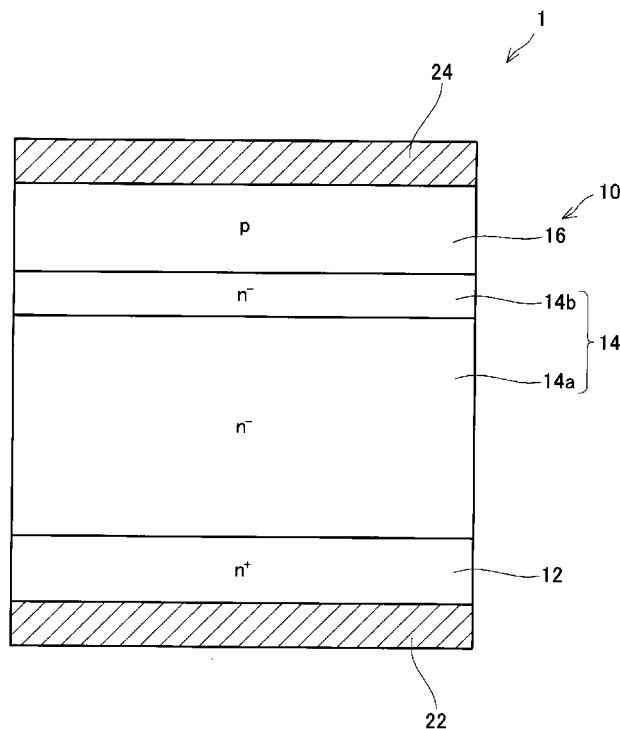
(30) 優先権データ:
特願 2021-046930 2021年3月22日(22.03.2021) JP

(71) 出願人: 株式会社デンソー (DENSO CORPORATION) [JP/JP]; 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 Aichi (JP).

(72) 発明者: 羽山 優介 (HAYAMA Yusuke); 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内 Aichi (JP). 山下 侑佑 (YAMASHITA Yusuke); 〒4801192 愛知県長久手市横道4-1番地の1 株式会社豊田中央研究所内 Aichi (JP). 片岡 恵太 (KATAOKA Keita); 〒4801192 愛知県長久手市横道4-1番地の1 株式会社豊田中央研究所内 Aichi (JP). 渡辺 行彦 (WATANABE Yukihiro); 〒4801192 愛知県長久手市横道4-1番地の1 株式会社豊田中央研究所内 Aichi (JP).

(54) Title: SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: 半導体装置



(57) Abstract: A semiconductor device (1, 2) is provided with a first main electrode (22, 122), a second main electrode (24, 124), and a semiconductor layer (10, 110) having the first main electrode coated on a lower surface and the second main electrode coated on an upper surface. The semiconductor layer has a p-type semiconductor region (16, 116) disposed at a position exposed on the upper surface and electrically connected to the second main electrode, and an n-type semiconductor region (14, 114) in contact with the p-type semiconductor region and separated from the second main electrode by the

(74) 代理人: 弁理士法人 快友国際特許事務所
(KAI-U PATENT LAW FIRM); 〒4516009 愛知
県名古屋市西区牛島町 6 番 1 号 名古屋ル
ーセントタワー 9 階 Aichi (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, 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))

p-type semiconductor region. The n-type semiconductor region has a trap region (14b, 114b) provided at a position in contact with the p-type semiconductor region, a hole trap being formed in the trap region.

(57) 要約: 半導体装置 (1、2) は、第 1 主電極 (22、122) と、第 2 主電極 (24、124) と、下
面に前記第 1 主電極が被膜されており、上面に前記第 2 主電極が被膜されている、半導体層 (10、11
0) と、を備えている。前記半導体層は、前記上面に露出する位置に配置されているとともに、前記第 2
主電極に電氣的に接続されている p 型半導体領域 (16、116) と、前記 p 型半導体領域に接するとと
もに、前記 p 型半導体領域によって前記第 2 主電極から隔てられている n 型半導体領域 (14、114)
と、を有している。前記 n 型半導体領域は、前記 p 型半導体領域に接する位置に設けられているトラップ領
域 (14b、114b) を有しており、前記トラップ領域には、正孔トラップが形成されている。

明 細 書

発明の名称：半導体装置

関連出願の相互参照

[0001] 本出願は、2021年3月22日に出願された日本特許出願特願2021-046930の関連出願であり、この日本特許出願に基づく優先権を主張するものであり、この日本特許出願に記載された全ての内容を、本明細書を構成するものとして援用する。

技術分野

[0002] 本明細書が開示する技術は、半導体装置に関する。

背景技術

[0003] ダイオード（MOSFETに内蔵されるダイオードも含む）に順バイアスが印加されると、n型カソード領域から高抵抗領域に電子が注入され、p型アノード領域から高抵抗領域に正孔が注入される。ダイオードに印加される電圧が順バイアスから逆バイアスに変化すると、順バイアスのときに高抵抗領域に注入された電子と正孔はそれぞれ、順バイアスのときとは逆向きに移動する。このような電子と正孔の逆向きの流れはリカバリ電流と呼ばれ、リカバリ損失の主な原因である。

[0004] また、ダイオードが炭化珪素を用いて形成されている場合、高抵抗領域に注入された正孔がn型カソード領域に達し、n型カソード領域において電子と正孔が再結合すると、その再結合エネルギーによってn型カソード領域と高抵抗領域の界面に存在する欠陥が成長することが知られている。

[0005] このようなりカバリ損失の増大、又は、積層欠陥の成長を抑制するためには、ダイオードが順バイアスのときの高抵抗領域の正孔濃度を低く抑えることが重要である。特開2019-80035号公報は、高抵抗領域にC空孔に由来する $Z_{1/2}$ センターを形成し、高抵抗領域のキャリアライフタイムを低下させることにより、高抵抗領域に注入された正孔がn型カソード領域に達するのを抑える技術を開示する。

発明の概要

[0006] 特開 2 0 1 9 - 8 0 0 3 5 号公報の技術では、高抵抗領域に注入された電子と正孔の再結合を促すことにより、高抵抗領域の正孔濃度を低く抑えることができる。しかしながら、本発明者らの検討の結果、特開 2 0 1 9 - 8 0 0 3 5 号公報の技術では、ダイオードが順バイアスのときに、p 型アノード領域からの正孔の注入そのものを抑えることができないことが分かってきた。本明細書は、ダイオードが順バイアスのときの正孔の注入そのものを抑える技術を提供する。

[0007] 本明細書が開示する半導体装置の一実施形態は、第 1 主電極と、第 2 主電極と、半導体層と、を備えることができる。前記半導体層は、下面に前記第 1 主電極が被膜されており、上面に前記第 2 主電極が被膜されている。前記半導体層は、p 型半導体領域と、n 型半導体領域と、を有することができる。前記 p 型半導体領域は、前記上面に露出する位置に配置されているとともに、前記第 2 主電極に電氣的に接続されている。前記 n 型半導体領域は、前記 p 型半導体領域に接するとともに、前記 p 型半導体領域によって前記第 2 主電極から隔てられている。前記 n 型半導体領域はさらに、前記 p 型半導体領域に接する位置に設けられているトラップ領域を有している。前記トラップ領域には、正孔トラップが形成されている。

[0008] 上記半導体装置では、前記 p 型半導体領域に接する位置に、正孔トラップが形成された前記トラップ領域が設けられている。このため、上記半導体装置が順バイアスのときに、前記トラップ領域が正孔に対するエネルギー障壁を形成するので、前記 p 型半導体領域から前記 n 型半導体領域への正孔の注入そのものを抑えることができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]ダイオードの実施形態の要部断面図を模式的に示す図である。

[図2]半導体層の深さ方向におけるアルミニウム及び n 型不純物の濃度分布を示す図である。

[図3]順バイアスのときのトラップ領域の作用効果を説明する図であり、(A

）は正孔トラップに捕獲された正孔密度を示す図であり、（B）はトラップ領域のポテンシャルを示す図である。

[図4]半導体層の深さ方向におけるアルミニウム及びn型不純物の濃度分布を示す図である。

[図5]M O S F E Tの実施形態の要部断面図を模式的に示す図である。

発明を実施するための形態

[0010] （ダイオードの実施形態）

図1に示されるように、ダイオード1は、半導体層10と、半導体層10の下面を被覆しているカソード電極22と、半導体層10の上面を被覆しているアノード電極24と、を備えている。カソード電極22及びアノード電極24の材料には、例えば、Al、Ni、Ti、Mo又はCoが用いられてもよい。なお、カソード電極22が第1主電極の一例であり、アノード電極24が第2主電極の一例である。

[0011] 半導体層10は、炭化珪素（S i C）で構成されており、n⁺型のカソード領域12と、n⁻型の高抵抗領域14と、p型のアノード領域16と、を有している。

[0012] カソード領域12は、半導体層10の下面に露出する位置に配置されており、カソード電極22にオーミック接触している。カソード領域12は、例えば面方位が（0001）の炭化珪素基板であり、後述するように、高抵抗領域14をエピタキシャル成長させるための下地基板でもある。

[0013] 高抵抗領域14は、カソード領域12とアノード領域16の間に配置されており、カソード領域12とアノード領域16の双方に接している。高抵抗領域14は、カソード領域12によってカソード電極22から隔てられており、アノード領域16によってアノード電極24から隔てられている。高抵抗領域14は、エピタキシャル成長技術を利用して、カソード領域12の表面から結晶成長して形成された炭化珪素で構成されており、そのn型不純物の濃度はカソード領域12よりも低い。なお、高抵抗領域14は、n型半導体領域の一例である。

- [0014] 高抵抗領域 14 は、非トラップ領域 14 a と、トラップ領域 14 b と、を有している。非トラップ領域 14 a は、トラップ領域 14 b よりもカソード領域 12 側に配置されており、カソード領域 12 に接している。トラップ領域 14 b は、非トラップ領域 14 a よりもアノード領域 16 側に配置されており、アノード領域 16 に接している。
- [0015] 非トラップ領域 14 a は、正孔トラップが実質的に形成されていない領域である。一方、トラップ領域 14 b は、正孔トラップが形成されている領域である。ここで、正孔トラップとは、欠陥又は不純物等によってバンドギャップ内の深いエネルギー準位に形成されるトラップであり、特に正孔を捕獲することが可能なトラップである。正孔トラップのエネルギー準位、密度及び深さ等の情報は、DLTS (Deep Level Transient Spectroscopy) 法によって得ることができる。正孔トラップを形成する方法は特に限定されるものではない。例えば、本実施形態のダイオード 1 では、イオン注入技術を利用して、高抵抗領域 14 のうちのトラップ領域 14 b に対応する範囲にアルミニウムを導入することにより、正孔トラップを形成している。
- [0016] アノード領域 16 は、半導体層 10 の上面に露出する位置に配置されており、アノード電極 24 にオーミック接触している。アノード領域 16 を形成する方法は、特に限定されるものではない。例えば、本実施形態のダイオード 1 では、結晶成長して形成された高抵抗領域 14 の上層部に、イオン注入技術を利用して、高抵抗領域 14 の n 型不純物よりも高濃度の p 型不純物を多段で飛程距離を変えて導入することによってアノード領域 16 が形成されている。p 型不純物としては、例えばアルミニウムが用いられる。なお、アノード領域 16 は、p 型半導体領域の一例である。
- [0017] 図 2 に、半導体層 10 の深さ方向におけるアルミニウムの濃度分布を示す。符号「16」の範囲がアノード領域 16 であり、符号「14b」の範囲がトラップ領域 14 b の範囲であり、符号「14a」が非トラップ領域 14 a の範囲である。破線は、半導体層 10 に含まれる n 型不純物の濃度を示す。
- [0018] アノード領域 16 には、n 型不純物よりも多くのアルミニウムが含まれて

いる。このため、アノード領域 16 は p 型である。なお、図 2 では、アノード領域 16 に含まれるアルミニウムの濃度が深さ方向に一定であるように示されているが、上記したように、アルミニウムは多段のイオン注入によって導入されていることから、実際には複数のピークが深さ方向に離れて存在している。

[0019] トラップ領域 14 b には、n 型不純物よりも少ないアルミニウムが含まれている。このため、トラップ領域 14 b は n 型である。図 2 に示されるように、アルミニウムの濃度分布は、トラップ領域 14 b に対応する範囲に段差を有している。ここで、濃度分布の段差とは、深さ方向における濃度の減少が上下の範囲に比して抑えられた範囲であり、より具体的には、深さ方向における濃度の減少が生じない部分を含む範囲をいう。上記したように、トラップ領域 14 b は、アルミニウムをイオン注入することによって形成されていることから、深さ方向におけるアルミニウムの濃度のピークがトラップ領域 14 b に位置している。このため、トラップ領域 14 b には、アルミニウムの濃度が増加する部分が含まれている。

[0020] アルミニウムが導入された領域には、正孔トラップが形成されることが知られている。正孔トラップの密度は、アルミニウムの濃度に概ね比例する。このため、半導体層 10 の深さ方向における正孔トラップの密度分布は、図 2 に示すアルミニウムの濃度分布と同様の分布を示す。したがって、トラップ領域 14 b とは、n 型の領域であって、深さ方向における正孔トラップの密度分布のピークを含む領域である、ということができる。また、トラップ領域 14 b は、n 型の領域であって、正孔トラップの密度が 10^{14} cm^{-3} 以上の領域、より好ましくは正孔トラップの密度が 10^{16} cm^{-3} 以上の領域である、ということもできる。

[0021] 次に、ダイオード 1 の動作を説明する。カソード電極 22 よりもアノード電極 24 が高電位となるようにカソード電極 22 とアノード電極 24 の間に順バイアスが印加されると、カソード領域 12 から高抵抗領域 14 に電子が注入され、アノード領域 16 から高抵抗領域 14 に正孔が注入され、カソー

ド電極 2 2 とアノード電極 2 4 の間が導通する。次に、カソード電極 2 2 よりもアノード電極 2 4 が低電位となるようにカソード電極 2 2 とアノード電極 2 4 の間に逆バイアスが印加されると、順バイアスのときに高抵抗領域 1 4 に注入された電子と正孔はそれぞれ、順バイアスのときとは逆向きに移動する。このような電子と正孔の逆向きの流れはリカバリ電流と呼ばれる。

[0022] ここで、図 3 を参照し、順バイアスのときのトラップ領域 1 4 b の作用について説明する。ここで、図中の「p」の領域がアノード領域 1 6 に対応し、「正孔トラップ」の領域がトラップ領域 1 4 b に対応し、「n⁻」の領域が非トラップ領域 1 4 a に対応する。順バイアスが印加されているとき、トラップ領域 1 4 b の正孔トラップに正孔が捕獲され、トラップ領域 1 4 b の捕獲正孔密度が増加する（図 3 の（A）参照）。正孔トラップに正孔が捕獲されると、正孔トラップの電位が上昇し、トラップ領域 1 4 b には正孔に対するポテンシャル障壁が形成される（図 3（B）参照）。これにより、アノード領域 1 6 から高抵抗領域 1 4 への正孔の注入が抑えられる。アノード領域 1 6 から高抵抗領域 1 4 への正孔の注入そのものが抑えられているので、順バイアスのときの高抵抗領域 1 4 の正孔濃度を低く抑えることができる。この結果、逆バイアスが印加されたときのリカバリ電流が抑えられ、リカバリ損失が低下する。

[0023] また、本実施形態のダイオード 1 では、トラップ領域 1 4 b の正孔トラップのエネルギー準位を E_t とし、トラップ領域 1 4 b の価電子帯のエネルギー準位を E_v とし、トラップ領域 1 4 b のバンドギャップを E_g とすると、 $E_t - E_v < E_g / 2$ の関係、即ち、 $E_t - E_v$ がミッドバンドギャップよりも小さいという関係が成立する。アルミニウムをイオン注入して形成される正孔トラップのエネルギー準位 E_t は、このような関係を有することができる。このような関係が成立するエネルギー準位の正孔トラップは、ゼロバイアスのときに正孔を捕獲することがない。このため、ダイオード 1 では、帯電した正孔トラップによる耐圧低下といった問題が生じない。

[0024] また、本実施形態のダイオード 1 では、高抵抗領域 1 4 が非トラップ領域

14aを有している。非トラップ領域14aが設けられていることにより、高抵抗領域14の全体に正孔トラップが形成される場合に比して順方向電圧の増大を抑えることができる。このため、本実施形態のダイオード1は、順方向電圧の増大を抑えながら、リカバリ損失を抑えることができる。

[0025] なお、図4に示すように、トラップ領域14bのn型不純物の濃度を非トラップ領域14aのn型不純物の濃度よりも高くすることにより、トラップ領域14bに含まれるアルミニウムの濃度も高くすることができる。この例では、トラップ領域14bのアルミニウムの濃度が、非トラップ領域14aのn型不純物の濃度よりも高い。このように、トラップ領域14bのアルミニウムの濃度が高いと、正孔トラップの密度も高くなり、順バイアスのときの正孔の注入を効果的に抑えることができる。トラップ領域14bのn型不純物の濃度を選択的に高くするためには、例えば、高抵抗領域14をエピタキシャル成長するときにトラップ領域14bに対応する範囲のn型不純物の濃度が高くなるように形成してもよく、エピタキシャル成長した後にトラップ領域14bに対応する範囲にn型不純物をイオン注入してもよい。

[0026] (MOSFETの実施形態)

以下、図5を参照して、ダイオードを内蔵したMOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) 2を説明する。MOSFET 2は、例えば、交流モータに交流電力を供給するインバータ装置に用いられ、内蔵ダイオードがフリーホイールダイオードとして動作する。

[0027] 図5に示されるように、MOSFET 2は、半導体層110と、半導体層110の下面を被覆しているドレイン電極122と、半導体層110の上面を被覆しているソース電極124と、半導体層110の上層部に設けられているトレンチゲート部130と、を備えている。ドレイン電極122及びソース電極124の材料には、例えば、Al、Ni、Ti、Mo又はCoが用いられてもよい。なお、ドレイン電極122が第1主電極の一例であり、ソース電極124が第2主電極の一例である。

[0028] 半導体層110は、炭化珪素 (SiC) で構成されており、n⁺型のドレイ

ン領域 1 1 2 と、 n^- 型の高抵抗領域 1 1 4 と、 p 型のボディ領域 1 1 6 と、 n^+ 型のソース領域 1 1 8 と、を有している。

[0029] ドレイン領域 1 1 2 は、半導体層 1 1 0 の下面に露出する位置に配置されており、ドレイン電極 1 2 2 にオーミック接触している。ドレイン領域 1 1 2 は、面方位が (0 0 0 1) 面の炭化珪素基板であり、高抵抗領域 1 1 4 をエピタキシャル成長させるための下地基板でもある。

[0030] 高抵抗領域 1 1 4 は、ドレイン領域 1 1 2 とボディ領域 1 1 6 の間に配置されており、ドレイン領域 1 1 2 とボディ領域 1 1 6 の双方に接している。高抵抗領域 1 1 4 は、ドレイン領域 1 1 2 によってドレイン電極 1 2 2 から隔てられており、ボディ領域 1 1 6 によってソース電極 1 2 4 から隔てられている。高抵抗領域 1 1 4 は、エピタキシャル成長技術を利用して、ドレイン領域 1 1 2 の表面から結晶成長して形成された炭化珪素で構成されており、その n 型不純物の濃度はドレイン領域 1 1 2 よりも低い。なお、高抵抗領域 1 1 4 は、 n 型半導体領域の一例である。

[0031] 高抵抗領域 1 1 4 は、非トラップ領域 1 1 4 a と、トラップ領域 1 1 4 b と、を有している。非トラップ領域 1 1 4 a は、トラップ領域 1 1 4 b よりもドレイン領域 1 1 2 側に配置されており、ドレイン領域 1 1 2 に接している。トラップ領域 1 1 4 b は、非トラップ領域 1 1 4 a よりもボディ領域 1 1 6 側に配置されており、ボディ領域 1 1 6 に接している。非トラップ領域 1 1 4 a は、正孔トラップが形成されていない領域である。一方、トラップ領域 1 1 4 b は、正孔トラップが形成されている領域である。なお、トラップ領域 1 1 4 b のアルミニウムの濃度分布及び正孔トラップの密度分布については、上記したダイオード 1 のトラップ領域 1 4 b と同様である。

[0032] ボディ領域 1 1 6 は、半導体層 1 1 0 の上面に露出する位置に配置されており、ソース電極 1 2 4 にオーミック接触している。ボディ領域 1 1 6 は、メインボディ領域 1 1 6 a と、電界緩和領域 1 1 6 b と、を有している。メインボディ領域 1 1 6 a は、半導体層 1 1 0 の上面に露出する位置に配置されているとともに、トレンチゲート部 1 3 0 の側面に接している。電界緩和

領域 116b は、メインボディ領域 116a の底面に接するとともに、トレンチゲート部 130 の側面から離れて配置されている。さらに、電界緩和領域 116b は、トレンチゲート部 130 の底面よりも下方に突出するように形成されている。このような電界緩和領域 116b が形成されていると、MOSFET 2 がオフしたときに、トレンチゲート部 130 の底面の電界を緩和することができる。

[0033] ボディ領域 116 を形成する方法は、特に限定されるものではない。例えば、本実施形態の MOSFET 2 では、エピタキシャル成長して形成された高抵抗領域 114 の上層部に、イオン注入技術を利用して、高抵抗領域 114 の n 型不純物よりも高濃度の p 型不純物を多段で飛程距離を変えて導入することによってボディ領域 116 が形成されている。p 型不純物としては、例えばアルミニウムが用いられる。なお、ボディ領域 116 は、p 型半導体領域の一例である。

[0034] ソース領域 118 は、半導体層 110 の上面に露出する位置に配置されており、ボディ領域 116 上に設けられており、ボディ領域 116 によって高抵抗領域 114 から隔てられている。ソース領域 118 を形成する方法は、特に限定されるものではない。本実施形態の MOSFET 2 では、イオン注入技術を利用して、半導体層 110 の上層部に n 型不純物を導入することにより、ソース領域 118 が形成されている。

[0035] トレンチゲート部 130 は、高抵抗領域 114 の非トラップ領域 114a とソース領域 118 を隔てる部分のメインボディ領域 116a に対向している。トレンチゲート部 130 は、半導体層 110 の上面からソース領域 118 及びメインボディ領域 116a を貫通して高抵抗領域 114 の非トラップ領域 114a に達するトレンチ内に設けられているトレンチゲート電極 132 及びゲート絶縁膜 134 を含む。トレンチゲート電極 132 は、CVD 技術を利用して、ゲート絶縁膜 134 で被膜されたトレンチ内に充填して形成される。ゲート絶縁膜 134 は、CVD 技術を利用して、トレンチの内壁を被膜して形成されている。

[0036] MOSFET 2では、ドレイン領域112をアノード領域とし、ボディ領域116をカソード領域とするダイオードが内蔵している。この内蔵ダイオードがフリーホイールダイオードとして動作する。内蔵ダイオードが動作するときの作用効果は、上記したダイオード1と同様である。即ち、トラップ領域114bが設けられていることにより、順バイアスされているときのボディ領域116から高抵抗領域114への正孔の注入そのものが抑えられ、高抵抗領域114の正孔濃度を低く抑えることができる。この結果、逆バイアスが印加されたときのリカバリ電流が抑えられ、リカバリ損失が低下する。なお、MOSFET 2では、ボディ領域116のうちの電界緩和領域116bの底面に接するようにトラップ領域114bが選択的に形成されている。ボディ領域116からの正孔注入は、主に電界緩和領域116bからである。このため、電界緩和領域116bに対して選択的にトラップ領域114bが設けられいても、ボディ領域116から高抵抗領域114への正孔の注入を効果的に抑えることができる。

[0037] また、MOSFET 2では、トラップ領域114bがトレンチゲート部130の側面から離れて配置されている。このため、トラップ領域114bは、MOSFET 2がオンするときにトレンチゲート部130の側面に形成されるチャネルから離れて配置されている。この結果、MOSFET 2のチャネル抵抗の増大が抑えられている。このように、MOSFET 2は、チャネル抵抗の増大を抑えながら、リカバリ電流の増大も抑えることができる。

[0038] 以下、本明細書で開示される技術の特徴を整理する。なお、以下に記載する技術要素は、それぞれ独立した技術要素であって、単独であるいは各種の組合せによって技術的有用性を発揮するものであり、出願時請求項記載の組合せに限定されるものではない。

[0039] 本明細書が開示する半導体装置の一実施形態は、第1主電極と、第2主電極と、半導体層と、を備えることができる。前記半導体層は、下面に前記第1主電極が被膜されており、上面に前記第2主電極が被膜されている。前記半導体層は、p型半導体領域と、n型半導体領域と、を有することができる。

。前記 p 型半導体領域は、前記上面に露出する位置に配置されているとともに、前記第 2 主電極に電氣的に接続されている。前記 n 型半導体領域は、前記 p 型半導体領域に接するとともに、前記 p 型半導体領域によって前記第 2 主電極から隔てられている。前記 n 型半導体領域はさらに、前記 p 半導体領域に接する位置に設けられているトラップ領域を有している。前記トラップ領域には、正孔トラップが形成されている。この実施形態の半導体装置は、ダイオードであってもよく、MOSFET に内蔵されるダイオードであってもよい。

[0040] 上記実施形態の半導体装置では、前記半導体層の深さ方向における前記正孔トラップの密度分布が、前記トラップ領域に対応する範囲においてピークを有していてもよい。この実施形態の半導体装置では、例えばイオン注入技術等を利用して前記トラップ領域に対応する範囲に正孔トラップが意図的に形成されたことが示されている。

[0041] 上記実施形態の半導体装置では、前記トラップ領域の正孔トラップのエネルギー準位を E_t とし、前記トラップ領域の価電子帯のエネルギー準位を E_v とし、前記トラップ領域のバンドギャップを E_g とすると、 $E_t - E_v < E_g / 2$ の関係が成立してもよい。この実施形態の半導体装置では、耐圧低下が抑制される。

[0042] 上記実施形態では、前記半導体層が炭化珪素であってもよい。この実施形態の半導体装置では、順バイアスが印加されたときの前記 n 型半導体領域の正孔濃度が抑えられるので、炭化珪素に固有の問題である積層欠陥の成長も抑えられる。

[0043] 上記実施形態の半導体装置では、前記トラップ領域がアルミニウムを含んでいてもよい。炭化珪素においては、アルミニウムを導入することで正孔トラップが形成されることが知られている。このため、アルミニウムを含む前記トラップ領域には、正孔トラップが形成されていることが示されている。

[0044] 上記実施形態の半導体装置では、前記 n 型半導体領域の n 型不純物の濃度分布は、前記トラップ領域に対応する範囲で他の範囲よりも高くてもよい。

前記トラップ領域の n 型不純物の濃度を高くすることで、前記トラップ領域は、n 型を維持しながらアルミニウムの濃度を高くすることができる。このため、前記トラップ領域は、正孔トラップの密度も高くすることができる。

[0045] 上記実施形態の半導体装置はさらに、前記半導体層の前記上面から前記 p 型半導体領域を貫通して前記 n 型半導体領域に達するトレンチ内に設けられているトレンチゲート部を備えていてもよい。前記トラップ領域は、前記トレンチゲート部の側面から離れた位置に配置されていてもよい。この実施形態の半導体装置では、チャネル抵抗の増加を抑えながら、リカバリ電流の増大も抑えることができる。

[0046] 上記実施形態の半導体装置では、前記 p 型半導体領域が、前記トレンチゲート部の前記側面から離れた位置で前記トレンチゲート部の底面よりも下方に突出する電界緩和領域を有していてもよい。前記トラップ領域は、前記電界緩和領域の底面に接するように配置されていてもよい。この実施形態の半導体装置では、チャネル抵抗の増加を抑えながら、リカバリ電流の増大も抑えることができる。

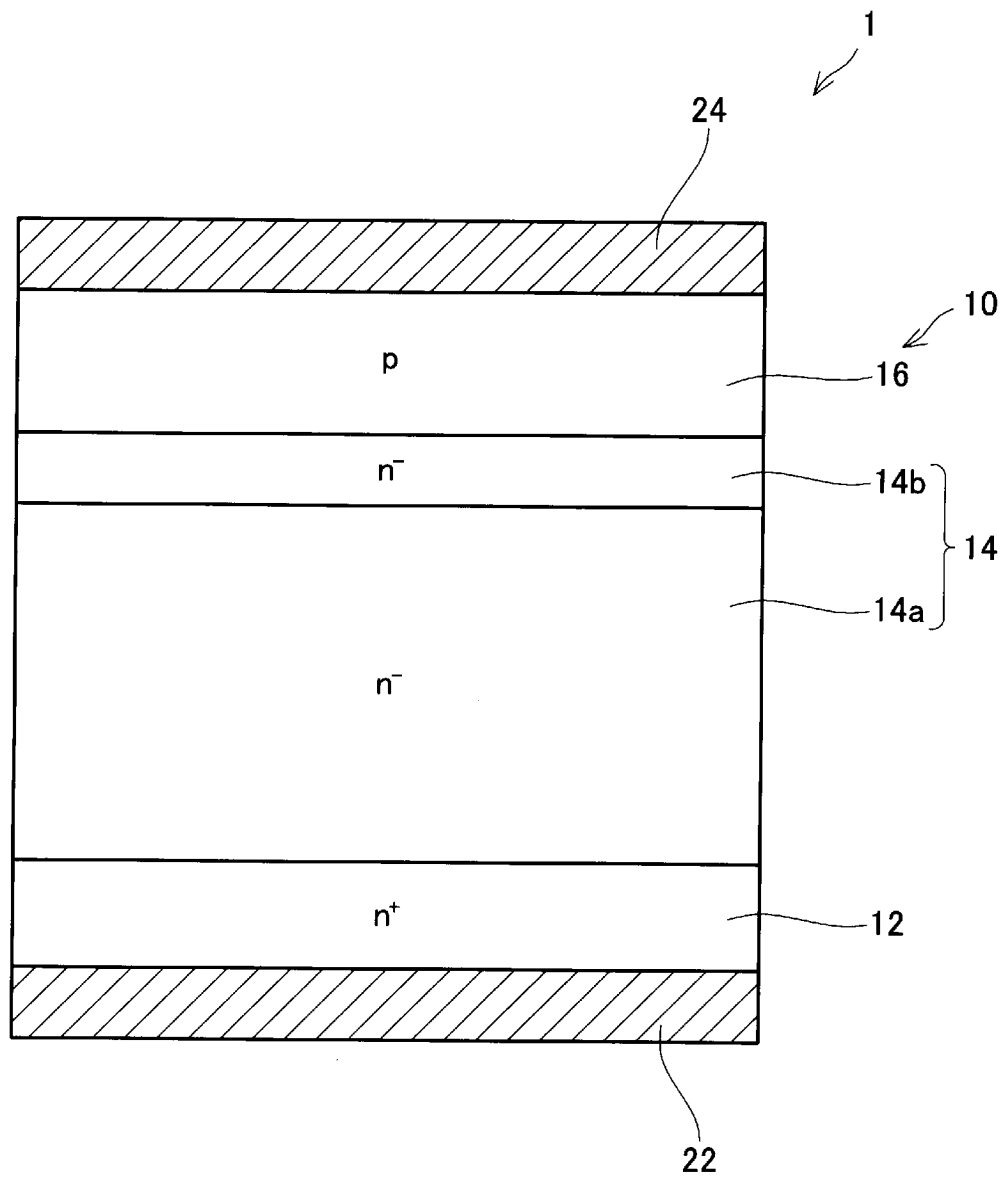
[0047] 以上、本発明の具体例を詳細に説明したが、これらは例示に過ぎず、請求の範囲を限定するものではない。請求の範囲に記載の技術には、以上に例示した具体例を様々に変形、変更したものが含まれる。また、本明細書または図面に説明した技術要素は、単独であるいは各種の組合せによって技術的有用性を発揮するものであり、出願時請求項記載の組合せに限定されるものではない。また、本明細書または図面に例示した技術は複数目的を同時に達成し得るものであり、そのうちの一つの目的を達成すること自体で技術的有用性を持つものである。

請求の範囲

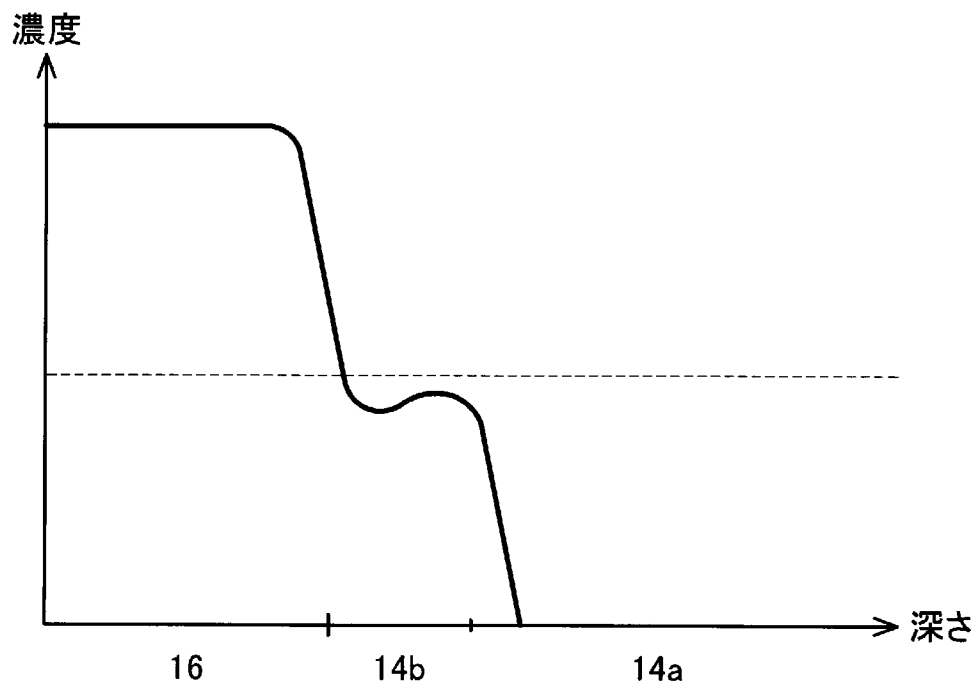
- [請求項1] 半導体装置（１、２）であって、
 第１主電極（２２、１２２）と、
 第２主電極（２４、１２４）と、
 下面に前記第１主電極が被膜されており、上面に前記第２主電極が被膜されている、半導体層（１０、１１０）と、を備えており、
 前記半導体層は、
 前記上面に露出する位置に配置されているとともに、前記第２主電極に電氣的に接続されているｐ型半導体領域（１６、１１６）と、
 前記ｐ型半導体領域に接するとともに、前記ｐ型半導体領域によって前記第２主電極から隔てられているｎ型半導体領域（１４、１１４）と、を有しており、
 前記ｎ型半導体領域は、前記ｐ型半導体領域に接する位置に設けられているトラップ領域（１４ｂ、１１４ｂ）を有しており、
 前記トラップ領域には、正孔トラップが形成されている、半導体装置。
- [請求項2] 前記半導体層の深さ方向における前記正孔トラップの密度分布は、前記トラップ領域に対応する範囲においてピークを有している、請求項１に記載の半導体装置。
- [請求項3] 前記トラップ領域の正孔トラップのエネルギー準位を E_t とし、
 前記トラップ領域の価電子帯のエネルギー準位を E_v とし、
 前記トラップ領域のバンドギャップを E_g とすると、
 $E_t - E_v < E_g / 2$ の関係が成立する、請求項１又は２に記載の半導体装置。
- [請求項4] 前記半導体層が炭化珪素である、請求項１～３のいずれか一項に記載の半導体装置。
- [請求項5] 前記トラップ領域は、アルミニウムを含む、請求項４に記載の半導体装置。

- [請求項6] 前記 n 型半導体領域の n 型不純物の濃度分布は、前記トラップ領域に対応する範囲で他の範囲よりも高い、請求項 5 に記載の半導体装置。
- [請求項7] 前記半導体層の前記上面から前記 p 型半導体領域を貫通して前記 n 型半導体領域に達するトレンチ内に設けられているトレンチゲート部（130）をさらに備えており、
- 前記トラップ領域は、前記トレンチゲート部の側面から離れた位置に配置されている、請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載の半導体装置。
- [請求項8] 前記 p 型半導体領域は、前記トレンチゲート部の前記側面から離れた位置で前記トレンチゲート部の底面よりも下方に突出する電界緩和領域（116b）を有しており、
- 前記トラップ領域は、前記電界緩和領域の底面に接するように配置されている、請求項 7 に記載の半導体装置。

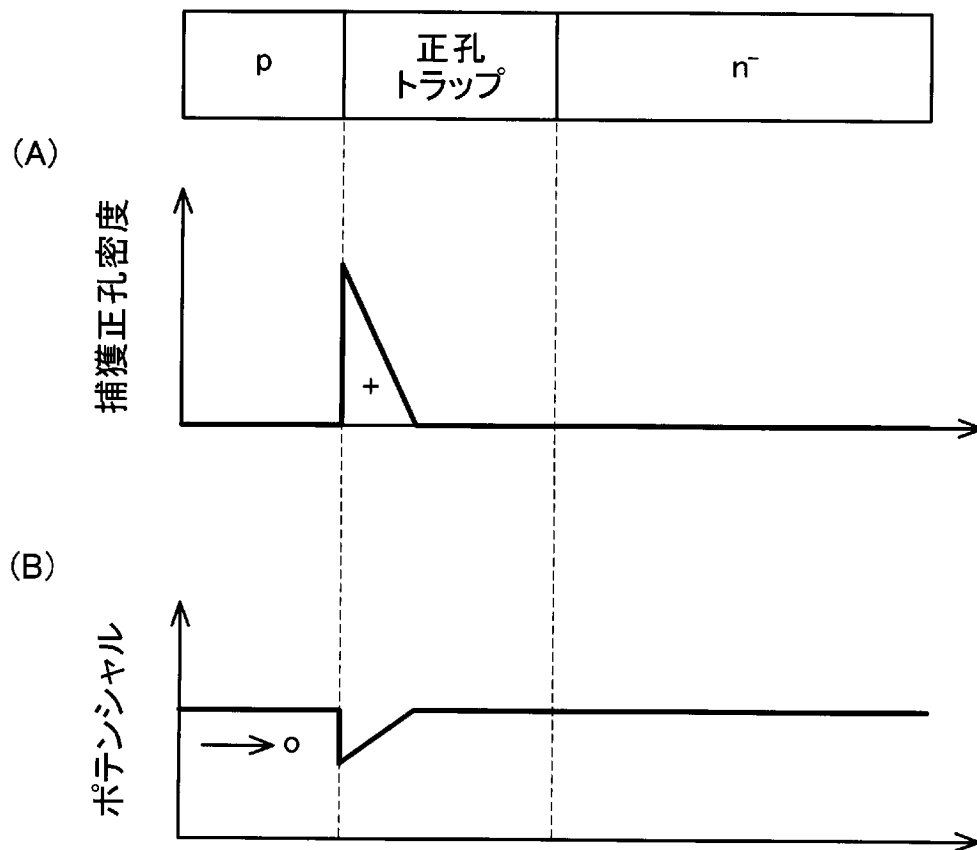
[図1]



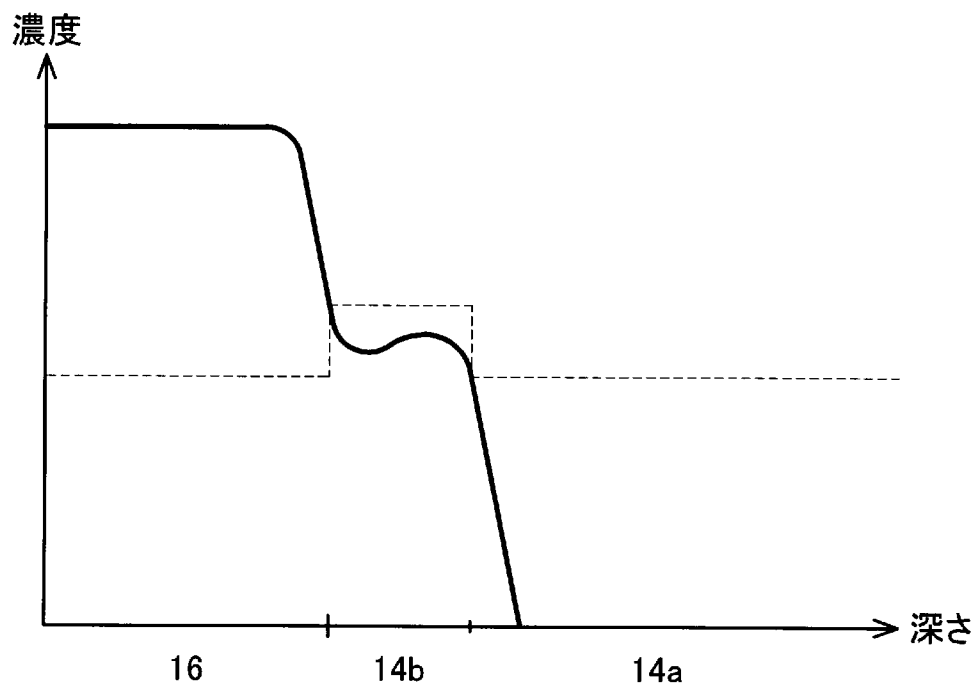
[図2]



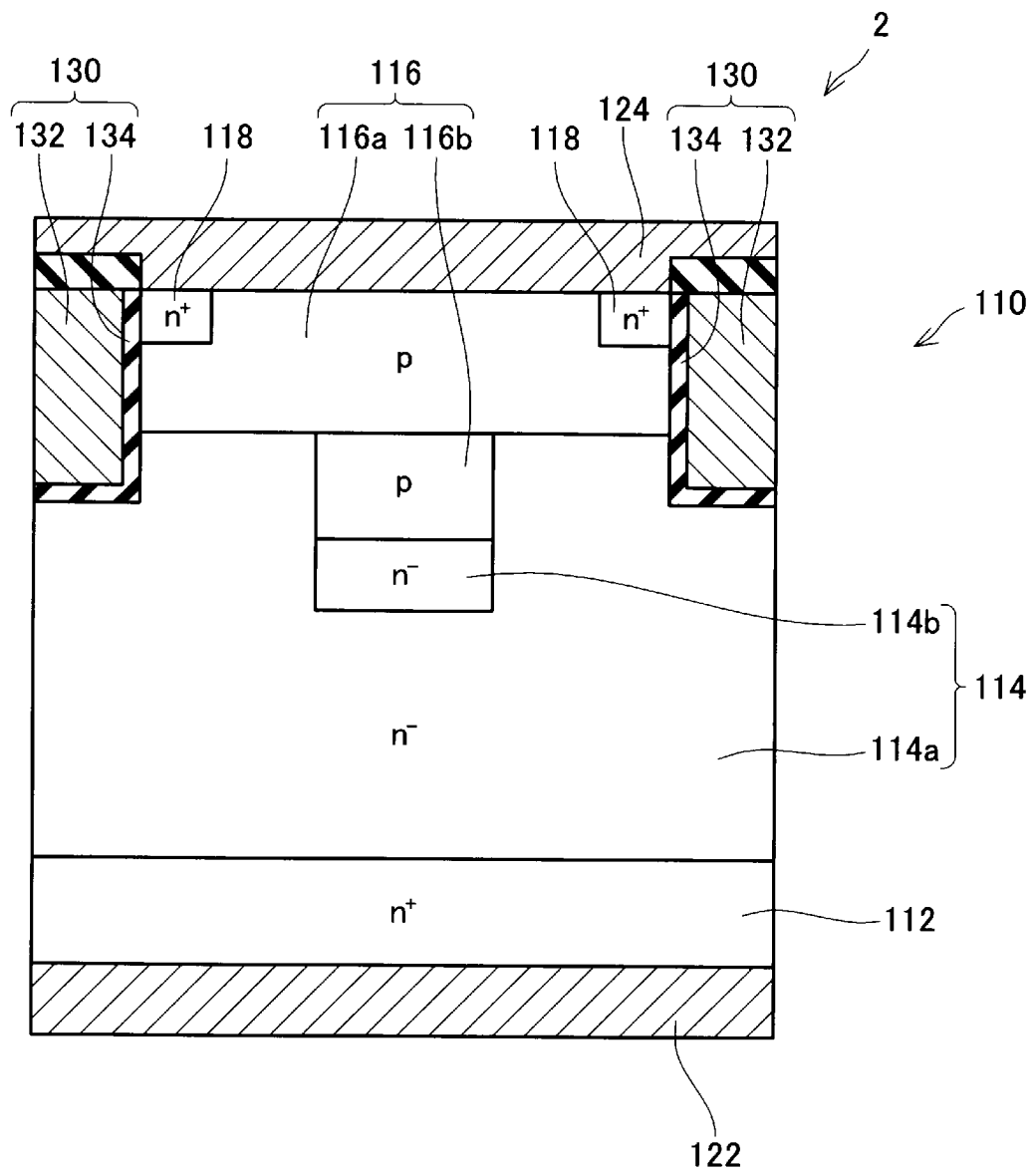
[図3]



[図4]



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/048603

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 29/868(2006.01)i; **H01L 21/329**(2006.01)i; **H01L 21/336**(2006.01)i; **H01L 29/06**(2006.01)i; **H01L 29/12**(2006.01)i;
H01L 29/78(2006.01)i; **H01L 29/861**(2006.01)i

FI: H01L29/91 C; H01L29/06 301D; H01L29/06 301V; H01L29/78 652C; H01L29/78 652H; H01L29/78 652J; H01L29/78 652T; H01L29/78 653A; H01L29/78 657D; H01L29/78 658A; H01L29/91 A; H01L29/91 F

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)

H01L29/868; H01L21/329; H01L21/336; H01L29/06; H01L29/12; H01L29/78; H01L29/861

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 1971-2022
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2011-100762 A (TOYOTA MOTOR CORP) 19 May 2011 (2011-05-19) paragraphs [0016]-[0022], fig. 1	1
Y		2, 4
A		3, 5-8
X	JP 2015-153980 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 24 August 2015 (2015-08-24) paragraphs [0011]-[0029], fig. 1, 2	1
Y		2
A		3-8
Y	JP 2007-242765 A (TOYOTA MOTOR CORP) 20 September 2007 (2007-09-20) paragraphs [0001]-[0004], fig. 1	2
A		1, 3-8

☒ 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

04 March 2022

Date of mailing of the international search report

15 March 2022

Name and mailing address of the ISA/JP

**Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan**

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/048603**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2005-285955 A (NGK INSULATORS LTD) 13 October 2005 (2005-10-13) paragraphs [0044]-[0046], fig. 7	4
A		1-3, 6-8
A	JP 2015-053427 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 19 March 2015 (2015-03-19)	1-8
A	JP 2017-011031 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 12 January 2017 (2017-01-12)	1-8
A	JP 2019-080035 A (DENSO CORP) 23 May 2019 (2019-05-23)	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/048603

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2011-100762	A	19 May 2011	(Family: none)	
JP	2015-153980	A	24 August 2015	(Family: none)	
JP	2007-242765	A	20 September 2007	(Family: none)	
JP	2005-285955	A	13 October 2005	(Family: none)	
JP	2015-053427	A	19 March 2015	US 2016/0218176 A1 WO 2015/033673 A1	
JP	2017-011031	A	12 January 2017	WO 2016/204112 A1	
JP	2019-080035	A	23 May 2019	WO 2019/083017 A1	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01L 29/868(2006.01)i; H01L 21/329(2006.01)i; H01L 21/336(2006.01)i; H01L 29/06(2006.01)i; H01L 29/12(2006.01)i; H01L 29/78(2006.01)i; H01L 29/861(2006.01)i FI: H01L29/91 C; H01L29/06 301D; H01L29/06 301V; H01L29/78 652C; H01L29/78 652H; H01L29/78 652J; H01L29/78 652T; H01L29/78 653A; H01L29/78 657D; H01L29/78 658A; H01L29/91 A; H01L29/91 F																																			
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）） H01L29/868; H01L21/329; H01L21/336; H01L29/06; H01L29/12; H01L29/78; H01L29/861 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>1971-2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2022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	1971-2022年	日本国実用新案登録公報	1996-2022年	日本国登録実用新案公報	1994-2022年																									
日本国実用新案公報	1922-1996年																																		
日本国公開実用新案公報	1971-2022年																																		
日本国実用新案登録公報	1996-2022年																																		
日本国登録実用新案公報	1994-2022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>JP 2011-100762 A（トヨタ自動車株式会社）19.05.2011（2011-05-19） [0016]-[0022], 図1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td></td> <td>2, 4</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> <td>3, 5-8</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>JP 2015-153980 A（三菱電機株式会社）24.08.2015（2015-08-24） [0011]-[0029], 図1, 2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td></td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> <td>3-8</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>JP 2007-242765 A（トヨタ自動車株式会社）20.09.2007（2007-09-20） [0001]-[0004], 図1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> <td>1, 3-8</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>JP 2005-285955 A（日本碍子株式会社）13.10.2005（2005-10-13） [0044]-[0046], 図7</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> <td>1-3, 6-8</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	JP 2011-100762 A（トヨタ自動車株式会社）19.05.2011（2011-05-19） [0016]-[0022], 図1	1	Y		2, 4	A		3, 5-8	X	JP 2015-153980 A（三菱電機株式会社）24.08.2015（2015-08-24） [0011]-[0029], 図1, 2	1	Y		2	A		3-8	Y	JP 2007-242765 A（トヨタ自動車株式会社）20.09.2007（2007-09-20） [0001]-[0004], 図1	2	A		1, 3-8	Y	JP 2005-285955 A（日本碍子株式会社）13.10.2005（2005-10-13） [0044]-[0046], 図7	4	A		1-3, 6-8
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号																																	
X	JP 2011-100762 A（トヨタ自動車株式会社）19.05.2011（2011-05-19） [0016]-[0022], 図1	1																																	
Y		2, 4																																	
A		3, 5-8																																	
X	JP 2015-153980 A（三菱電機株式会社）24.08.2015（2015-08-24） [0011]-[0029], 図1, 2	1																																	
Y		2																																	
A		3-8																																	
Y	JP 2007-242765 A（トヨタ自動車株式会社）20.09.2007（2007-09-20） [0001]-[0004], 図1	2																																	
A		1, 3-8																																	
Y	JP 2005-285955 A（日本碍子株式会社）13.10.2005（2005-10-13） [0044]-[0046], 図7	4																																	
A		1-3, 6-8																																	
☒ 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 04.03.2022		国際調査報告の発送日 15.03.2022																																	
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） 岩本 勉 5F 2576 電話番号 03-3581-1101 内線 3516																																	

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2015-053427 A (住友電気工業株式会社) 19.03.2015 (2015 - 03 - 19)	1-8
A	JP 2017-011031 A (住友電気工業株式会社) 12.01.2017 (2017 - 01 - 12)	1-8
A	JP 2019-080035 A (株式会社デンソー) 23.05.2019 (2019 - 05 - 23)	1-8

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/JP2021/048603

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2011-100762	A	19.05.2011	(ファミリーなし)	
JP	2015-153980	A	24.08.2015	(ファミリーなし)	
JP	2007-242765	A	20.09.2007	(ファミリーなし)	
JP	2005-285955	A	13.10.2005	(ファミリーなし)	
JP	2015-053427	A	19.03.2015	US 2016/0218176	A1
				WO 2015/033673	A1
JP	2017-011031	A	12.01.2017	WO 2016/204112	A1
JP	2019-080035	A	23.05.2019	WO 2019/083017	A1