(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
2020年10月8日(08.10.2020)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2020/204019 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 29/47 (2006.01) *H01L 29/861* (2006.01)
H01L 29/872 (2006.01) *H01L 29/868* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2020/014723

(22) 国際出願日： 2020年3月31日(31.03.2020)

(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 2019-071261 2019年4月3日(03.04.2019) JP

(71) 出願人: 株式会社タムラ製作所 (**TAMURA CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1788511 東京都練馬区東大泉１丁目１９番４３号 Tokyo (JP). 株式会社ノベルクリスタルテクノロジー(**NOVEL CRYSTAL TECHNOLOGY, INC.**) [JP/JP]; 〒3501328 埼玉県狭山市広瀬台二丁目３番１号 Saitama (JP).

(72) 発明者: 佐々木 公平 (**SASAKI, Kohei**); 〒3501328 埼玉県狭山市広瀬台二丁目３番１号 株式会社ノベルクリスタルテクノロジー内 Saitama (JP).

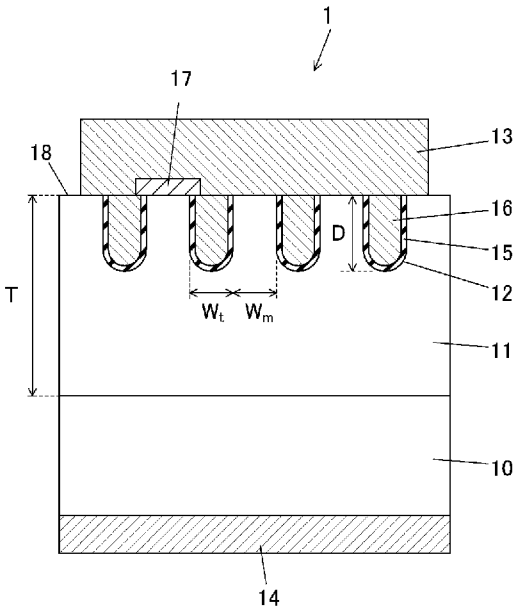
(74) 共通の代表者:株式会社タムラ製作所(**TAMURA CORPORATION**); 〒1788511 東京都練馬区東大泉１丁目１９番４３号 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,

(54) **Title:** SCHOTTKY DIODE

(54) 発明の名称： ショットキーダイオード

図1



(57) **Abstract:** Provided is a Ga_2O_3-based Schottky diode which has a high breakdown voltage and low loss and is highly resistant to surge current. An embodiment provides a Schottky diode 1 composed of a Ga_2O_3-based single crystal and comprising: an n-type semiconductor layer 11 having a plurality of trenches 12 opening on one side; an anode electrode 13 connected to mesa-shaped regions between adjacent trenches 12 of the n-type semiconductor layer 11; an anode electrode 16 embedded in each of the plurality of trenches 12 in a state of being coated with a

WO 2020/204019 A1

［続葉有］

DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, 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:

— 国際調査報告(条約第21条(3))

trench insulating film 15; a cathode electrode 14 connected directly or indirectly to the side of the n-type semiconductor layer 11 opposite to the anode electrode 13; and a p-type semiconductor member 17 connected to a part of the mesa-shaped regions and to the anode electrode 13.

(57) 要約:高耐圧かつ低損失であり、かつサージ電流への耐性に優れたGa_2O_3系のショットキーダイオードを提供する。一実施の形態として、Ga_2O_3系単結晶からなり、一方の面に開口する複数のトレンチ１２を有するｎ型半導体層１１と、ｎ型半導体層１１の隣接するトレンチ１２の間のメサ形状領域に接続されたアノード電極１３と、トレンチ絶縁膜１５に覆われた状態で複数のトレンチ１２のそれぞれに埋め込まれたアノード電極１６と、ｎ型半導体層１１のアノード電極１３と反対側に直接又は間接的に接続されたカソード電極１４と、前記メサ形状領域の一部及び前記アノード電極１３に接続されたｐ型半導体部材１７と、を備えた、ショットキーダイオード１を提供する。

明　細　書

発明の名称 ： ショットキーダイオード

技術分野

[0001] 本発明は、ショットキーダイオードに関する。

背景技術

[0002] 従来、ジャンクションバリアショットキー（ＪＢＳ）ダイオードと呼ばれる、ｐｎ接合とショットキー接合を組み合わせた構造を有するダイオードが知られている（例えば、特許文献１参照）。ＪＢＳダイオードにおいては、ｐｎダイオード部分にサージ電流を流すことができるため、ｐｎ接合を有しないショットキーバリアダイオードと比較して、サージ電流への耐性に優れる。

[0003] 特許文献１に記載のＪＢＳダイオードは、ＳｉＣからなるｎ$^{-}$型ドリフト層と、ｎ$^{-}$型ドリフト層にｐ型不純物をイオン注入することにより得られるｐ型層を有し、ｎ$^{-}$型ドリフト層とｐ型層がｐｎ接合を形成している。

[0004] また、従来、ゲート電極が半導体層に埋め込まれたトレンチＭＯＳ型のGa_2O_3系ショットキーダイオードが知られている（例えば、特許文献２参照）。Ga_2O_3系の半導体デバイスは、Ga_2O_3の広いバンドギャップに代表される物性から、高耐圧・低損失であることが知られている。さらに、特許文献１に記載のショットキーダイオードは、トレンチＭＯＳ構造を用いているため、半導体層の抵抗を増加することなく、より高い耐圧を得ることができる。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開２００８－２８２９７３号公報

特許文献2：特開２０１８－１４２５７７号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、特許文献２に示されるようなGa_2O_3系ショットキーダイオードのサージ電流への耐性を向上させようとした場合、ｐ型のGa_2O_3を得ることが非常に困難であるため、Ga_2O_3層にｐ型不純物を添加してｐｎ接合領域を形成することができない。

[0007] 本発明の目的は、高耐圧かつ低損失であり、かつサージ電流への耐性に優れたGa_2O_3系のショットキーダイオードを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明の一態様は、上記目的を達成するために、下記［１］～［６］のショットキーダイオードを提供する。

[0009] ［１］Ga_2O_3系単結晶からなり、一方の面に開口する複数のトレンチを有するｎ型半導体層と、前記ｎ型半導体層の隣接する前記トレンチの間のメサ形状領域に接続されたアノード電極と、絶縁膜に覆われた状態で前記複数のトレンチのそれぞれに埋め込まれ、前記アノード電極に電気的に接続されたトレンチアノード電極と、前記ｎ型半導体層の前記アノード電極と反対側に直接又は間接的に接続されたカソード電極と、前記メサ形状領域の一部及び前記アノード電極に接続されたｐ型半導体部材と、を備えた、ショットキーダイオード。

［２］前記ｐ型半導体部材が、価電子帯の上端のエネルギーが前記Ga_2O_3系単結晶の価電子帯の上端のエネルギー以上である第１のｐ型半導体部材を含む、上記［１］に記載のショットキーダイオード。

［３］前記第１のｐ型半導体部材が、Ga_2O_3、ＮｉＯ、Cu_2O、ＳｎＯ、ＺｎＳｅ、ＧａＮ、ＳｉＣ、Ｓｉ、又はＧａＡｓからなる、上記［２］に記載のショットキーダイオード。

［４］前記ｐ型半導体部材が、価電子帯の上端のエネルギーが前記Ga_2O_3系単結晶の価電子帯の上端のエネルギーに２ｅＶを加えたエネルギー以下である第２のｐ型半導体部材を含む、上記［１］～［３］のいずれか１項に記載のショットキーダイオード。

［５］前記第２のｐ型半導体部材が、ＺｎＳｅ、ＧａＮ、又はダイアモンド

からなる、上記［４］に記載のショットキーダイオード。

［６］前記第２のｐ型半導体部材の価電子帯の上端のエネルギーが、前記Ｇａ$_2$Ｏ$_3$系単結晶の価電子帯の上端のエネルギー以下である、上記［４］に記載のショットキーダイオード。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、高耐圧かつ低損失であり、かつサージ電流への耐性に優れたＧａ$_2$Ｏ$_3$系のショットキーダイオードを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]図１は、本発明の実施の形態に係るショットキーダイオードの垂直断面図である。

[図2]図２は、ｐ型半導体部材とＧａ$_2$Ｏ$_3$系単結晶からなるｎ型半導体層のバンド構造と、正孔の流れを模式的に示す図である。

[図3]図３は、ショットキーダイオードがｐ型半導体部材を含む場合（Ａ）と含まない場合（Ｂ）の、突入電流が流れるときの電流－電圧特性を模式的に示すグラフである。

[図4]図４は、ｐ型半導体部材とＧａ$_2$Ｏ$_3$系単結晶からなるｎ型半導体層のバンド構造と、正孔の流れを模式的に示す図である。

[図5]図５は、本発明の実施の形態に係るショットキーダイオードの変形例の垂直断面図である。

発明を実施するための形態

[0012] 〔第１の実施の形態〕

（ショットキーダイオードの構成）

図１は、第１の実施の形態に係るショットキーダイオード１の垂直断面図である。ショットキーダイオード１は、トレンチＭＯＳ構造を有する縦型のショットキーダイオードである。

[0013] ショットキーダイオード１は、ｎ型半導体基板１０と、ｎ型半導体基板１０に積層される層であって、そのｎ型半導体基板１０と反対側の面１８に開口するトレンチ１２を有するｎ型半導体層１１と、ｎ型半導体層１１の面１

８上に形成されたアノード電極１３と、ｎ型半導体基板１０のｎ型半導体層１１と反対側の面上に形成されたカソード電極１４と、ｎ型半導体層１１のトレンチ１２の内面を覆うトレンチ絶縁膜１５と、ｎ型半導体層１１のトレンチ１２内にトレンチ絶縁膜１５に覆われるように埋め込まれ、アノード電極１３に電気的に接続されるアノード電極１６と、を有する。

[0014] ショットキーダイオード１においては、アノード電極１３とカソード電極１４との間に順方向電圧（アノード電極１３側が正電位）を印加することにより、ｎ型半導体層１１から見たアノード電極１３とｎ型半導体層１１との界面のエネルギー障壁が低下し、アノード電極１３からカソード電極１４へ電流が流れる。

[0015] 一方、アノード電極１３とカソード電極１４との間に逆方向電圧（アノード電極１３側が負電位）を印加したときは、ショットキー障壁により、電流は流れない。また、アノード電極１３とカソード電極１４との間に逆方向電圧を印加すると、アノード電極１３とｎ型半導体層１１との界面及びトレンチ絶縁膜１５とｎ型半導体層１１との界面から空乏層が拡がる。

[0016] 一般的に、ショットキーダイオードの逆方向リーク電流の上限は１μＡとされている。本実施の形態では、１μＡのリーク電流が流れるときの逆方向電圧を耐圧と定義する。

[0017] 例えば、“松波弘之、大谷昇、木本恒暢、中村孝著、「半導体ＳｉＣ技術と応用」、第２版、日刊工業新聞社、２０１１年９月３０日、ｐ．３５５”に記載された、ＳｉＣを半導体層とするショットキーダイオードにおける逆方向リーク電流のショットキー界面電界強度依存性のデータによれば、逆方向リーク電流の電流密度が０．０００１Ａ／ｃｍ^{2}のときのショットキー電極直下の電界強度は、およそ０．８ＭＶ／ｃｍである。ここで、０．０００１Ａ／ｃｍ^{2}は、サイズが１ｍｍ×１ｍｍであるショットキー電極に１μＡの電流が流れたときのショットキー電極直下の電流密度である。

[0018] このため、半導体材料自体の絶縁破壊電界強度が数ＭＶ／ｃｍあったとしても、ショットキー電極直下の電界強度が０．８ＭＶ／ｃｍを超えると、１

μＡを超えるリーク電流が流れることになる。

[0019] 例えば、ショットキー電極直下の電界強度を抑制するための特別な構造を有さない従来のショットキーダイオードにおいて１２００Ｖの耐圧を得るためには、ショットキー電極直下の電界強度を０．８ＭＶ／ｃｍ以下に抑えるために、半導体層のドナー濃度を10^{15}ｃｍ$^{-3}$台にまで下げ、かつ半導体層を非常に厚くする必要がある。そのため、導通損失が非常に大きくなり、高耐圧かつ低損失のショットキーバリアダイオードを作製することは困難である。

[0020] 本実施の形態に係るショットキーダイオード１は、トレンチＭＯＳ構造を有するため、半導体層の抵抗を増加することなく、高い耐圧を得ることができる。すなわち、ショットキーダイオード１は、高耐圧かつ低損失のショットキーダイオードである。

[0021] なお、高耐圧かつ低損失のショットキーダイオードとして、ジャンクションバリアショットキー（ＪＢＳ）ダイオードが知られているが、ｐ型のGa_2O_3は製造が困難であるため、Ga_2O_3はｐ型領域が必要なＪＢＳダイオードの材料に向いていない。

[0022] ｎ型半導体基板１０は、ドナーとしてのＳｉ、Ｓｎ等のIV族元素を含むｎ型のGa_2O_3系単結晶からなる。ｎ型半導体基板１０のドナー濃度は、例えば、１．０×10^{18}ｃｍ$^{-3}$以上かつ１．０×10^{20}ｃｍ$^{-3}$以下である。ｎ型半導体基板１０の厚さは、例えば、１０～６００μｍである。ｎ型半導体基板１０は、例えば、Ga_2O_3系単結晶基板である。

[0023] ここで、Ga_2O_3系単結晶とは、Ga_2O_3単結晶、又は、Ａｌ、Ｉｎ等の元素が添加されたGa_2O_3単結晶をいう。例えば、Ａｌ及びＩｎが添加されたGa_2O_3単結晶である（$(Ga_xAl_yIn_{(1-x-y)})_2O_3$（０＜ｘ≦１、０≦ｙ＜１、０＜ｘ＋ｙ≦１）単結晶であってもよい。Ａｌを添加した場合にはバンドギャップが広がり、Ｉｎを添加した場合にはバンドギャップが狭くなる。なお、上記のGa_2O_3単結晶は、例えば、β型の結晶構造を有する。

[0024] ｎ型半導体層１１は、ドナーとしてのＳｉ、Ｓｎ等のIV族元素を含むｎ型

のＧａ$_2$Ｏ$_3$系単結晶からなる。ｎ型半導体層１１のドナー濃度は、ｎ型半導体基板１０のドナー濃度Ｎ$_d$よりも低い。ｎ型半導体層１１は、例えば、Ｇａ$_2$Ｏ$_3$系単結晶基板であるｎ型半導体基板１０上にエピタキシャル成長したエピタキシャル層である。

[0025] なお、ｎ型半導体基板１０とｎ型半導体層１１との間に、高濃度のドナーを含む高ドナー濃度層を形成してもよい。この高ドナー濃度層は、例えば、基板であるｎ型半導体基板１０上にｎ型半導体層１１をエピタキシャル成長させる場合に用いられる。ｎ型半導体層１１の成長初期は、ドーパントの取り込み量が不安定であったり、基板であるｎ型半導体基板１０からのアクセプタ不純物の拡散があったりするため、ｎ型半導体基板１０上にｎ型半導体層１１を直接成長させると、ｎ型半導体層１１のｎ型半導体基板１０との界面に近い領域が高抵抗化する場合がある。このような問題を避けるため、高ドナー濃度層が用いられる。高ドナー濃度層の濃度は、例えば、ｎ型半導体層１１よりも高い濃度に設定され、より好ましくは、ｎ型半導体基板１０よりも高い濃度に設定される。

[0026] ｎ型半導体層１１のドナー濃度が増加するほど、ショットキーダイオード１の各部の電界強度が増加する。ｎ型半導体層１１中のアノード電極１３直下の領域中の最大電界強度、ｎ型半導体層１１中の最大電界強度、及びトレンチ絶縁膜１５中の最大電界強度を低く抑えるためには、ｎ型半導体層１１のドナー濃度がおよそ６．０×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下であることが好ましい。一方、ドナー濃度Ｎ$_d$が小さくなるほどｎ型半導体層１１の抵抗が大きくなり、順方向損失が増加してしまうため、例えば１２００Ｖ以下の耐圧を得るためには、３．０×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以上であることが好ましい。また、より高い耐圧を得るためには、ドナー濃度Ｎ$_d$を例えば１．０×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$程度まで下げることが好ましい。

[0027] ｎ型半導体層１１の厚さＴが増加するほど、ｎ型半導体層１１中の最大電界強度及びトレンチ絶縁膜１５中の最大電界強度が低減する。ｎ型半導体層１１の厚さＴをおよそ６μｍ以上にすることにより、ｎ型半導体層１１中の

最大電界強度及びトレンチ絶縁膜１５中の最大電界強度を効果的に低減することができる。これらの電界強度の低減と、ショットキーダイオード１の小型化の観点から、ｎ型半導体層１１の厚さＴはおよそ５．５μｍ以上かつ９μｍ以下であることが好ましい。

[0028] トレンチ１２の深さＤによってショットキーダイオード１の各部の電界強度が変化する。ｎ型半導体層１１中のアノード電極１３直下の領域中の最大電界強度、ｎ型半導体層１１中の最大電界強度、及びトレンチ絶縁膜１５中の最大電界強度を低く抑えるためには、トレンチ１２の深さＤがおよそ２μｍ以上かつ６μｍ以下であることが好ましく、およそ３μｍ以上かつ４μｍ以下であることがより好ましい。

[0029] トレンチ１２の幅W_tは、アノード電極１３直下の領域の電界強度とは無関係のため、自由に設定できる。トレンチ１２内には電流が流れないため、幅W_tは可能な限り狭い方が好ましい。しかしながら、幅W_tを微細化し過ぎると、トレンチ１２内へのトレンチ絶縁膜１５及びアノード電極１６の埋め込みが困難になり、製造歩留まりが悪化する。一方、本発明者の検討により、幅W_tが３μｍ以上になると幅W_tが増えてもアノード電極１６の埋め込み性にほとんど影響がないことがわかっている。また、幅W_tが０．５μｍ未満になると、トレンチ１２の形成のために特殊な露光装置が必要になり、製造コストが増加する場合がある。よって、幅W_tは、０．５μｍ以上、３μｍ以下であることが好ましい。

[0030] ｎ型半導体層１１の隣接するトレンチ１２の間のメサ形状部分の幅が低減するほど、ｎ型半導体層１１中のアノード電極１３直下の領域中の最大電界強度が低減する。ｎ型半導体層１１中のアノード電極１３直下の領域中の最大電界強度を低く抑えるためには、メサ形状部分の幅W_mが２．５μｍ以下であることが好ましい。一方、メサ形状部分の幅が小さいほどトレンチ１２の製造難度が上がるため、メサ形状部分の幅W_mが０．５μｍ以上であることが好ましい。

[0031] トレンチ絶縁膜１５の誘電率が増加するほど、トレンチ絶縁膜１５中の最

大電界強度が低減するため、トレンチ絶縁膜１５は誘電率が高い材料からなることが好ましい。例えば、トレンチ絶縁膜１５の材料としてAl_2O_3（比誘電率がおよそ９．３）、HfO_2（比誘電率がおよそ２２）を用いることができるが、誘電率の高いHfO_2を用いることが特に好ましい。

[0032] また、トレンチ絶縁膜１５の厚さが増加するほど、ｎ型半導体層１１中の最大電界強度が低減するが、トレンチ絶縁膜１５中の最大電界強度およびアノード電極１３直下の領域中の最大電界強度が増加する。製造容易性の観点からは、トレンチ絶縁膜１５の厚さは小さい方が好ましく、３００ｎｍ以下であることがより好ましい。ただし、当然ながら、アノード電極１６とｎ型半導体層１１の間に直接電流がほとんど流れない程度の厚さは必要である。

[0033] アノード電極１６の材料は、導電性を有するものであれば特に限定されず、例えば、高濃度でドーピングされた多結晶Ｓｉや、Ｎｉ、Ａｕ等の金属を用いることができる。

[0034] ショットキーダイオード１中の電界強度は、上述のように、隣接する２つのトレンチ１２の間のメサ形状部分の幅、トレンチ１２の深さＤ、トレンチ絶縁膜１５の厚さ等の影響を受けるが、トレンチ１２の平面パターンにはほとんど影響を受けない。このため、ｎ型半導体層１１のトレンチ１２の平面パターンは特に限定されない。

[0035] ｐ型半導体部材１７は、サージ対策のために用いられる部材であり、そのエネルギー構造によって、２種類のサージ電流に対応することができる。

[0036] ｐ型半導体部材１７の価電子帯の上端のエネルギーが、ｎ型半導体層１１を構成するGa_2O_3系単結晶の価電子帯の上端のエネルギー以上である場合は、ｐ型半導体部材１７を用いることにより、逆方向電圧印加時に落雷等に起因して生じるサージ電流を逃がすことができる。以下、価電子帯の上端のエネルギーが、ｎ型半導体層１１を構成するGa_2O_3系単結晶の価電子帯の上端のエネルギー以上であるｐ型半導体部材１７をｐ型半導体部材１７ａと呼ぶ。

[0037] サージ電流はアバランシェブレークダウンの発生により生じるが、このア

バランシェブレークダウンにより大量に発生する電子と正孔のうち、電子はｎ型半導体層１１からカソード電極１４を通って外部へ抜けることができる。一方、正孔は、ショットキー障壁に阻まれるため、ｎ型半導体層１１からアノード電極１３へ直接移動することはできないが、ｐ型半導体部材１７ａを通ってアノード電極１３へ移動することができる。

[0038] 図２は、ｐ型半導体部材１７とGa_2O_3系単結晶からなるｎ型半導体層１１のバンド構造と、正孔の流れを模式的に示す図である。図２に示されるように、ｐ型半導体部材１７の価電子帯の上端のエネルギーE_{V2}がGa_2O_3系単結晶の価電子帯の上端のエネルギーE_{V1}以上であれば、ｎ型半導体層１１からｐ型半導体部材１７へ正孔が移動することができる。なお、ｐ型半導体部材１７の伝導帯の下端のエネルギーE_{C2}の大きさは、ｎ型半導体層１１からｐ型半導体部材１７への正孔の移動に影響を及ぼさないため、特定の範囲に限定されることはない。

[0039] ｐ型半導体部材１７ａは、Ga_2O_3、ＮｉＯ、Cu_2O、ＳｎＯ、ＺｎＳｅ、ＧａＮ、ＳｉＣ、Ｓｉ、ＧａＡｓなどのｐ型半導体からなる。なお、ｐ型半導体部材１７ａは、酸化物であるGa_2O_3系単結晶からなるｎ型半導体層１１と常に接触した状態にあるため、Ｓｉなどの非酸化物からなる場合は徐々に酸化されるおそれがある。そのため、ｐ型半導体部材１７ａは、長期安定性を確保するため、Ga_2O_3、ＮｉＯ、Cu_2O、ＳｎＯ等の酸化物からなることが好ましい。また、Ga_2O_3はｐ型導電性を得るのが困難なため、ＮｉＯ、Cu_2O、ＳｎＯ等がｐ型半導体部材１７ａの材料として特に好ましい。

[0040] また、ｐ型半導体部材１７の価電子帯の上端のエネルギーが、ｎ型半導体層１１を構成するGa_2O_3系単結晶の価電子帯の上端のエネルギーに２ｅＶを加えたエネルギー以下である場合は、ｐ型半導体部材１７を用いることにより、ショットキーダイオード１をオンにする際に生じ得るサージ電流（突入電流、始動電流などとも呼ばれる）発生時にドリフト層の抵抗を下げることができ、発熱や破損を抑制することができる。以下、価電子帯の上端のエ

ネルギーが、ｎ型半導体層１１を構成するGa_2O_3系単結晶の価電子帯の上端のエネルギーに２ｅＶを加えたエネルギー以下であるｐ型半導体部材１７をｐ型半導体部材１７ｂと呼ぶ。

[0041] 通常、ｐｎダイオードはショットキーダイオードよりもオン電圧が大きい。このため、ショットキーダイオード１がオンになる電圧でｐ型半導体部材１７ｂとｎ型半導体層１１で構成されるｐｎダイオード部分がオンしないような設計にすることができる。例えば、ショットキーダイオード１のオン電圧を１Ｖ程度、ｐｎダイオード部分のオン電圧を２Ｖ程度とすることができる。

[0042] これによって、ショットキーダイオード１の通常動作においてはｐｎダイオード部分はオンしないため、ショットキーダイオード本来の高速動作が可能になる。一方、突入電流発生時はショットキーダイオード１の電圧が上昇し、ｐｎダイオード部分がオンする電圧に達し、ｐ型半導体部材１７ｂからｎ型半導体層１１へ正孔が注入される。

[0043] そのとき、カソード電極１４からｎ型半導体層１１へはその注入された正孔と同じ数の電子が注入され、ドリフト層の抵抗が大幅に減少する。このため、突入電流という大電流がショットキーダイオード１を流れるが、電圧の上昇は抑えられるため、温度上昇が抑えられ、突入電流によるショットキーダイオード１の損傷を防ぐことができる。

[0044] 図３は、ショットキーダイオード１がｐ型半導体部材１７ｂを含む場合（Ａ）と含まない場合（Ｂ）の、突入電流が流れるときの電流－電圧特性を模式的に示すグラフである。図３に示されるように、ｐ型半導体部材１７ｂが含まれない場合、電流の増加とともに電圧が上昇し続け、ショットキーダイオード１の温度が急上昇して燃え尽きてしまう。一方、ｐ型半導体部材１７ｂが含まれる場合、ｐｎダイオード部分がオンする電圧V_{pn}に達すると、電圧の上昇率が低下する。このように、突入電流によりショットキーダイオード１を流れる電流は上昇するが、電圧の上昇が抑えられるため、温度上昇が抑えられ、ショットキーダイオード１の損傷が防がれる。

[0045] 図４は、ｐ型半導体部材１７とGa_2O_3系単結晶からなるｎ型半導体層１１のバンド構造と、正孔の流れを模式的に示す図である。図４に示されるように、ｐ型半導体部材１７の価電子帯の上端のエネルギーE_{V2}がGa_2O_3系単結晶の価電子帯の上端のエネルギーE_{V1}に２ｅＶを加えたエネルギー以下であれば、ｐ型半導体部材１７からｎ型半導体層１１へ正孔が注入され得る。なお、ｐ型半導体部材１７の伝導帯の下端のエネルギーE_{C2}の大きさは、ｐ型半導体部材１７からｎ型半導体層１１への正孔の注入に影響を及ぼさないため、特定の範囲に限定されることはない。

[0046] また、ｐ型半導体部材１７の価電子帯の上端のエネルギーE_{V2}が、ｎ型半導体層１１を構成するGa_2O_3系単結晶の価電子帯の上端のエネルギーE_{V1}以下である場合は、ｐ型半導体部材１７からｎ型半導体層１１への正孔の移動が容易になるため、突入電流への耐性をより高めることができる。

[0047] ｐ型半導体部材１７ｂは、ＺｎＳｅ、ＧａＮ、ダイアモンドなどのｐ型半導体からなる。これらの材料のうち、ダイアモンドの価電子帯の上端のエネルギーはGa_2O_3系単結晶の価電子帯の上端のエネルギー以下であるため、ダイアモンドをｐ型半導体部材１７ｂの材料として用いることにより、突入電流への耐性をより高めることができる。

[0048] また、ＺｎＳｅ、ＧａＮの価電子帯の上端のエネルギーはGa_2O_3系単結晶の価電子帯の上端のエネルギー以上であるため、ＺｎＳｅ、ＧａＮからなるｐ型半導体部材１７は、落雷等に起因して生じるサージ電流に対応するｐ型半導体部材１７ａと、突入電流に対応するｐ型半導体部材１７ｂのいずれとしても機能することができる。

[0049] ｐ型半導体部材１７の大きさ、個数、配置は特に限定されない。ｐ型半導体部材１７とｎ型半導体層１１との接触面積が大きいほどサージ電流を効率的に逃がすことができるが、通常動作時に電流が流れにくくなる。このため、ｐ型半導体部材１７とｎ型半導体層１１との総接触面積は、アノード電極１３とｎ型半導体層１１との総接触面積の１０％以上かつ５０％以下であることが好ましい。

[0050] 図５は、ショットキーダイオード１の変形例である、ｐ型半導体部材１７ａとｐ型半導体部材１７ｂの両方を有するショットキーダイオード２の垂直断面図である。ショットキーダイオード２は、ｐ型半導体部材１７ａによる落雷等に起因して生じるサージ電流への高い耐性と、ｐ型半導体部材１７ｂによる突入電流への高い耐性を有する。

[0051] ショットキーダイオード２においては、ｐ型半導体部材１７ａとｎ型半導体層１１との総接触面積と、ｐ型半導体部材１７ｂとｎ型半導体層１１との総接触面積との合計が、アノード電極１３とｎ型半導体層１１との総接触面積の１０％以上かつ５０％以下であることが好ましい。

[0052] （実施の形態の効果）

上記実施の形態によれば、高耐圧かつ低損失であり、かつサージ電流への耐性に優れたGa_2O_3系のショットキーダイオードを提供することができる。

[0053] 以上、本発明の実施の形態を説明したが、本発明は、上記実施の形態に限定されず、発明の主旨を逸脱しない範囲内において種々変形実施が可能である。また、上記に記載した実施の形態は特許請求の範囲に係る発明を限定するものではない。また、実施の形態の中で説明した特徴の組合せの全てが発明の課題を解決するための手段に必須であるとは限らない点に留意すべきである。

産業上の利用可能性

[0054] 高耐圧かつ低損失であり、かつサージ電流への耐性に優れたGa_2O_3系のショットキーダイオードを提供することができる。

符号の説明

[0055] １、２…ショットキーダイオード、 １０…ｎ型半導体基板、 １１…ｎ型半導体層、 １２…トレンチ、 １３…アノード電極、 １４…カソード電極、 １５…トレンチ絶縁膜、 １６…アノード電極、 １７、１７ａ、１７ｂ…ｐ型半導体部材

請求の範囲

[請求項1] Ga_2O_3系単結晶からなり、一方の面に開口する複数のトレンチを有するｎ型半導体層と、

前記ｎ型半導体層の隣接する前記トレンチの間のメサ形状領域に接続されたアノード電極と、

絶縁膜に覆われた状態で前記複数のトレンチのそれぞれに埋め込まれ、前記アノード電極に電気的に接続されたトレンチアノード電極と、

前記ｎ型半導体層の前記アノード電極と反対側に直接又は間接的に接続されたカソード電極と、

前記メサ形状領域の一部及び前記アノード電極に接続されたｐ型半導体部材と、

を備えた、ショットキーダイオード。

[請求項2] 前記ｐ型半導体部材が、価電子帯の上端のエネルギーが前記Ga_2O_3系単結晶の価電子帯の上端のエネルギー以上である第１のｐ型半導体部材を含む、

請求項１に記載のショットキーダイオード。

[請求項3] 前記第１のｐ型半導体部材が、Ga_2O_3、ＮｉＯ、Cu_2O、ＳｎＯ、ＺｎＳｅ、ＧａＮ、ＳｉＣ、Ｓｉ、又はＧａＡｓからなる、

請求項２に記載のショットキーダイオード。

[請求項4] 前記ｐ型半導体部材が、価電子帯の上端のエネルギーが前記Ga_2O_3系単結晶の価電子帯の上端のエネルギーに２ｅＶを加えたエネルギー以下である第２のｐ型半導体部材を含む、

請求項１～３のいずれか１項に記載のショットキーダイオード。

[請求項5] 前記第２のｐ型半導体部材が、ＺｎＳｅ、ＧａＮ、又はダイアモンドからなる、

請求項４に記載のショットキーダイオード。

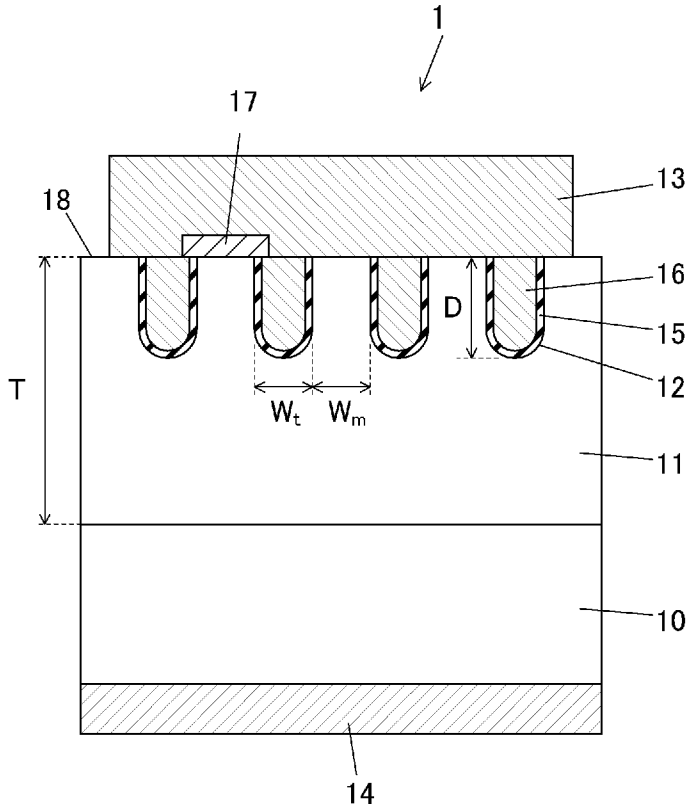
[請求項6] 前記第２のｐ型半導体部材の価電子帯の上端のエネルギーが、前記

Ga_2O_3系単結晶の価電子帯の上端のエネルギー以下である、

請求項４に記載のショットキーダイオード。

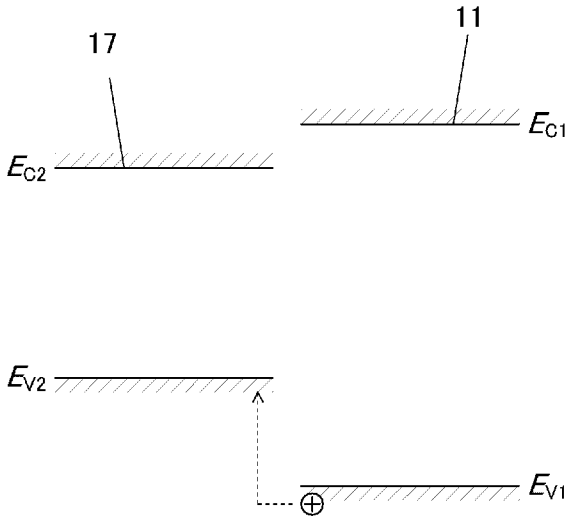
[図1]

図1



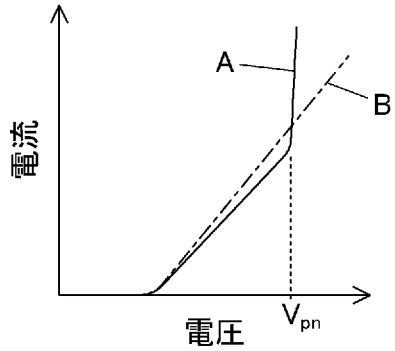
[図2]

図2



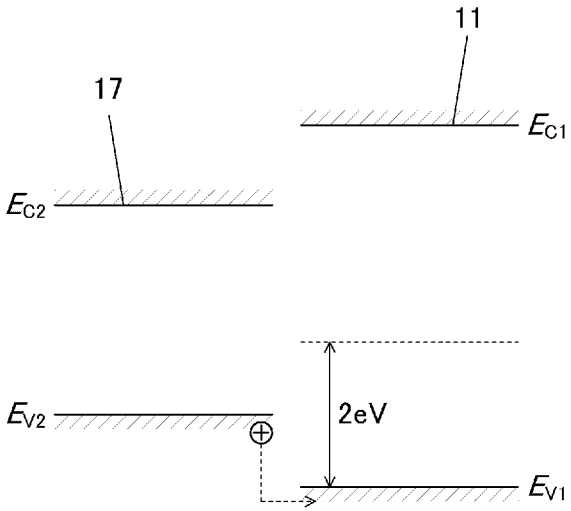
[図3]

図3



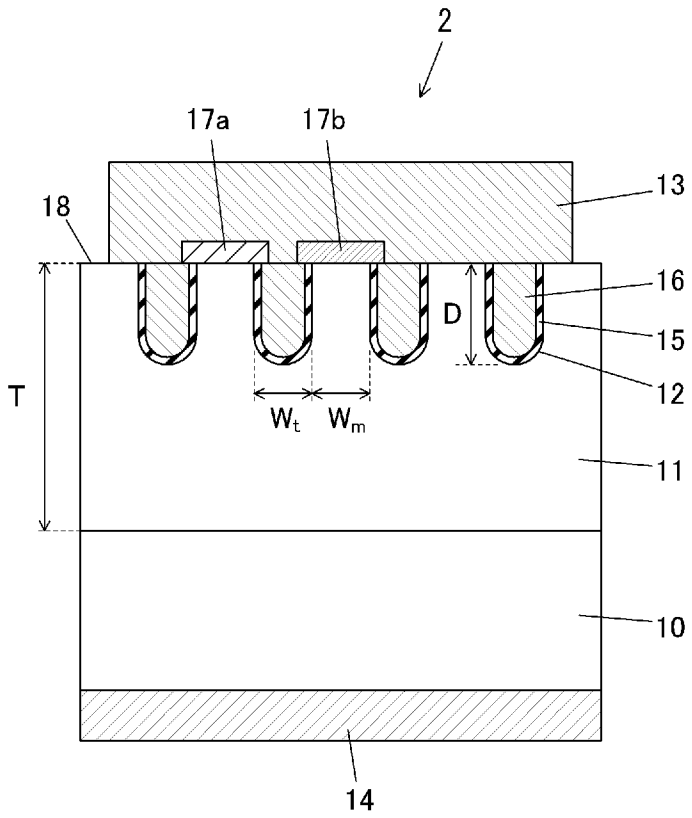
[図4]

図4



[図5]

図5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2020/014723

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L 29/47(2006.01)i; H01L 29/872(2006.01)i; H01L 29/861(2006.01)i; H01L 29/868(2006.01)i
FI: H01L29/86 301D; H01L29/86 301E; H01L29/48 D; H01L29/48 F; H01L29/86 301F; H01L29/91 K
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)
H01L29/47; H01L29/872; 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	1971-2020
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.
Y A	WO 2018/150451 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP., TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 23.08.2018 (2018-08-23) paragraphs [0017]-[0031], [0044], fig. 1, 2	1-4 5, 6
Y A	JP 2018-142577 A (TAMURA CORPORATION) 13.09.2018 (2018-09-13) paragraphs [0021]-[0052], fig. 1-2	1-4 5, 6
Y A	JP 2018-060992 A (FLOSFIA INC.) 12.04.2018 (2018-04-12) paragraph [0002]	2-4 1, 5, 6
Y A	JP 2014-205899 A (TAMURA CORPORATION, TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 30.10.2014 (2014-10-30) paragraphs [0004], [0029]	2-4 1, 5, 6

☒ 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	Date of mailing of the international search report
11 June 2020 (11.06.2020)	07 July 2020 (07.07.2020)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2020/014723

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2013-219332 A (TDK CORPORATION) 24.10.2013	2-4
A	(2013-10-24) paragraphs [0055], [0094], [0099]	1, 5, 6
Y	JP 2014-183244 A (UNIV OF SHIGA PREFECTURE)	2-4
A	29.09.2014 (2014-09-29) paragraphs [0003], [0016]	1, 5, 6
Y	JP 2009-224136 A (TDK CORPORATION) 01.10.2009	2-4
A	(2009-10-01) paragraph [0025]	1, 5, 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2020/014723

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2018/150451 A1	23 Aug. 2018	(Family: none)	
JP 2018-142577 A	13 Sep. 2018	EP 3588580 A1 paragraphs [0016]-[0047], fig. 1-2 WO 2018/155711 A1 CN 110352498 A	
JP 2018-060992 A	12 Apr. 2018	US 2017/0179249 A1 paragraph [0002] US 2019/0043961 A1 EP 3182464 A1	
JP 2014-205899 A	30 Oct. 2014	(Family: none)	
JP 2013-219332 A	24 Oct. 2013	US 2013/0240874 A1 paragraphs [0067], [0101], [0105]	
JP 2014-183244 A	29 Sep. 2014	(Family: none)	
JP 2009-224136 A	01 Oct. 2009	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2020/014723

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H01L 29/47(2006.01)i; H01L 29/872(2006.01)i; H01L 29/861(2006.01)i; H01L 29/868(2006.01)i
FI: H01L29/86 301D; H01L29/86 301E; H01L29/48 D; H01L29/48 F; H01L29/86 301F; H01L29/91 K

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））

H01L29/47; H01L29/872; 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

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

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	WO 2018/150451 A1（三菱電機株式会社，国立大学法人東京工業大学）23.08.2018 (2018-08-23) 段落0017-0031,0044，図1,2	1-4
A		5,6
Y	JP 2018-142577 A（株式会社タムラ製作所）13.09.2018（2018-09-13） 段落0021-0052，図1-2	1-4
A		5,6
Y	JP 2018-060992 A（株式会社ＦＬＯＳＦＩＡ）12.04.2018（2018-04-12） 段落0002	2-4
A		1,5,6
Y	JP 2014-205899 A（株式会社タムラ製作所，国立大学法人東京工業大学）30.10.2014 (2014-10-30) 段落0004,0029	2-4
A		1,5,6

☑ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と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	国際調査報告の発送日
11.06.2020	07.07.2020

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

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
Y	JP 2013-219332 A（ＴＤＫ株式会社）24.10.2013（2013－10－24） 段落0055,0094,0099	2-4
A		1,5,6
Y	JP 2014-183244 A（公立大学法人　滋賀県立大学）29.09.2014（2014－09－29） 段落0003,0016	2-4
A		1,5,6
Y	JP 2009-224136 A（ＴＤＫ株式会社）01.10.2009（2009－10－01） 段落0025	2-4
A		1,5,6

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/JP2020/014723

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2018/150451 A1	23.08.2018	（ファミリーなし）	
JP 2018-142577 A	13.09.2018	EP 3588580 A1 段落0016-0047，図1-2 WO 2018/155711 A1 CN 110352498 A	
JP 2018-060992 A	12.04.2018	US 2017/0179249 A1 段落0002 US 2019/0043961 A1 EP 3182464 A1	
JP 2014-205899 A	30.10.2014	（ファミリーなし）	
JP 2013-219332 A	24.10.2013	US 2013/0240874 A1 段落0067,0101,0105	
JP 2014-183244 A	29.09.2014	（ファミリーなし）	
JP 2009-224136 A	01.10.2009	（ファミリーなし）	