(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
2021年9月23日(23.09.2021)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2021/186936 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 29/06 (2006.01) *H01L 29/872* (2006.01)
H01L 29/47 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2021/004060

(22) 国際出願日： 2021年2月4日(04.02.2021)

(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 2020-049789 2020年3月19日(19.03.2020) JP

(71) 出願人: ＴＤＫ株式会社(**TDK CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目５番１号 Tokyo (JP).

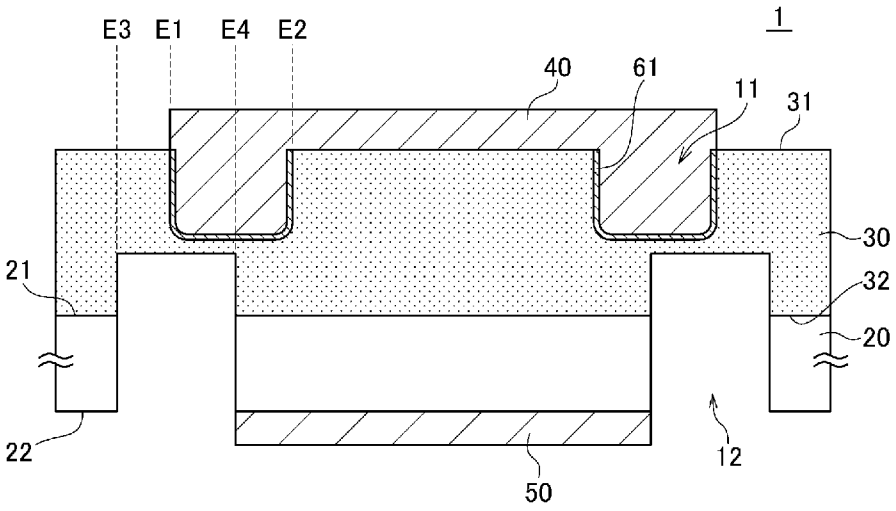
(72) 発明者: 有馬 潤 (**ARIMA Jun**); 〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目５番１号 ＴＤＫ株式会社内 Tokyo (JP). 藤田 実(**FUJITA Minoru**); 〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目５番１号 ＴＤＫ株式会社内 Tokyo (JP). 平林 潤(**HIRABAYASHI Jun**); 〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目５番１号 ＴＤＫ株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 鷲頭 光宏, 外(**WASHIZU Mitsuhiro** et al.); 〒1040061 東京都中央区銀座一丁目５番１号第三太陽ビル７Ｆ 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,

(54) **Title:** SCHOTTKY BARRIER DIODE

(54) 発明の名称： ショットキーバリアダイオード



(57) **Abstract:** [Problem] To prevent, in a Schottky barrier diode in which gallium oxide is used, dielectric breakdown due to electric field concentration. [Solution] A Schottky barrier diode 1 is provided with: a semiconductor substrate 20 and a drift layer 30 comprising gallium oxide; an anode electrode 40 in Schottky contact with the upper surface 31 of the drift layer 30; and a cathode electrode 50 in ohmic contact with the lower surface 22 of the semiconductor substrate 20. A ring-shaped outer periphery trench 11 is provided on the upper surface 31 of the drift layer 30, and a part of the anode electrode 40 is embedded in the outer periphery trench 11. A ring-shaped reverse-surface trench 12 having a bottom part that reaches the drift layer 30 is provided on the lower surface 22 of the semiconductor substrate 20. Because current pathways are restricted to the region surrounded by the reverse-surface trench, electric field concentration in the vicinity

WO 2021/186936 A1

［続葉有］

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))

of the bottom part of the outer periphery trench 11 is moderated.

(57) 要約: 【課題】酸化ガリウムを用いたショットキーバリアダイオードにおいて、電界の集中による絶縁破壊を防止する。 【解決手段】ショットキーバリアダイオード１は、酸化ガリウムからなる半導体基板２０及びドリフト層３０と、ドリフト層３０の上面３１とショットキー接触するアノード電極４０と、半導体基板２０の下面２２とオーミック接触するカソード電極５０とを備える。 ドリフト層３０の上面３１にはリング状の外周トレンチ１１が設けられ、アノード電極４０の一部が外周トレンチ１１の内部に埋め込まれる。半導体基板２０の下面２２には、底部がドリフト層３０に達するリング状の裏面トレンチ１２が設けられている。これにより、電流経路が裏面トレンチで囲まれた領域に制限されることから、外周トレンチ１１の底部近傍における電界集中が緩和される。

明　細　書

発明の名称 ： ショットキーバリアダイオード

技術分野

[0001] 本発明はショットキーバリアダイオードに関し、特に、酸化ガリウムを用いたショットキーバリアダイオードに関する。

背景技術

[0002] ショットキーバリアダイオードは、金属と半導体の接合によって生じるショットキー障壁を利用した整流素子であり、ＰＮ接合を有する通常のダイオードに比べて順方向電圧が低く、且つ、スイッチング速度が速いという特徴を有している。このため、ショットキーバリアダイオードはパワーデバイス用のスイッチング素子として利用されることがある。

[0003] ショットキーバリアダイオードをパワーデバイス用のスイッチング素子として用いる場合、十分な逆方向耐圧を確保する必要があることから、シリコン（Ｓｉ）の代わりに、よりバンドギャップの大きい炭化シリコン（ＳｉＣ）、窒化ガリウム（ＧａＮ）、酸化ガリウム（Ga_2O_3）などが用いられることがある。中でも、酸化ガリウムは、バンドギャップが４．８～４．９ｅＶと非常に大きく、絶縁破壊電界も約８ＭＶ／ｃｍと大きいことから、酸化ガリウムを用いたショットキーバリアダイオードは、パワーデバイス用のスイッチング素子として非常に有望である。酸化ガリウムを用いたショットキーバリアダイオードの例は、特許文献１及び２に記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２０１７－４５９６９号公報

特許文献2：特開２０１７－１９９８６９号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、特許文献１及び２に記載されたショットキーバリアダイオ

ードは、アノード電極の外周端近傍に電界が集中し、この部分において絶縁破壊が生じるおそれがあった。

[0006] したがって、本発明は、酸化ガリウムを用いたショットキーバリアダイオードにおいて、電界の集中による絶縁破壊を防止することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明によるショットキーバリアダイオードは、酸化ガリウムからなる半導体基板と、酸化ガリウムからなり、半導体基板の上面と接する下面及び下面の反対側に位置する上面を有し、上面にリング状の外周トレンチが設けられたドリフト層と、外周トレンチで囲まれたドリフト層の上面とショットキー接触するとともに、外周トレンチの内部に絶縁膜を介して埋め込まれたアノード電極と、半導体基板の上面とは反対側の下面とオーミック接触するカソード電極とを備え、半導体基板の下面には、底部がドリフト層に達するリング状の裏面トレンチが設けられており、カソード電極は、半導体基板の下面のうち、裏面トレンチで囲まれた領域の外側に設けられることなく、裏面トレンチで囲まれた領域に設けられており、ドリフト層のうち外周トレンチに囲まれた領域は、平面視で裏面トレンチに囲まれた領域と重なりを有していることを特徴とする。

[0008] 本発明によれば、底部がドリフト層に達するリング状の裏面トレンチが半導体基板に設けられていることから、電流経路が裏面トレンチで囲まれた領域に制限される。これにより、外周トレンチの底部近傍における電界集中が緩和されることから、絶縁破壊を防止することが可能となる。

[0009] 本発明において、裏面トレンチの内周壁は、平面視で外周トレンチの外周壁の内側に位置しても構わない。これによれば、外周トレンチの外側エッジ近傍における電界集中が大幅に緩和されることから、絶縁破壊をより効果的に防止することが可能となる。

[0010] 本発明において、裏面トレンチの内周壁は、平面視で外周トレンチの内周壁と外周壁の間に位置しても構わない。これによれば、絶縁破壊を防止しつつ、電流経路として機能するドリフト層の断面積を十分に確保することが可

能となる。

[0011] 本発明によるショットキーバリアダイオードは、外周トレンチを囲むよう、ドリフト層の上面をリング状に覆うフィールド絶縁膜をさらに備え、アノード電極の外周端は、フィールド絶縁膜上に位置しても構わない。これによれば、アノード電極の外周端近傍における電界集中が緩和されることから、絶縁破壊をより効果的に防止することが可能となる。

[0012] 本発明において、裏面トレンチは絶縁材料で埋め込まれていても構わない。これによれば、全体の機械的強度を高めることが可能となる。

[0013] 本発明において、ドリフト層の上面には、外周トレンチに囲まれた領域に形成された複数の中心トレンチが設けられており、アノード電極は、中心トレンチの内部に絶縁膜を介して埋め込まれていても構わない。これによれば、アノード電極とカソード電極との間に逆方向電圧が印加されると、中心トレンチによって区画されるメサ領域が空乏層となるため、ドリフト層のチャネル領域がピンチオフされる。これにより、逆方向電圧が印加された場合のリーク電流を大幅に抑制することが可能となる。

発明の効果

[0014] このように、本発明によれば、酸化ガリウムを用いたショットキーバリアダイオードにおいて、電界の集中による絶縁破壊を防止することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]図１は、本発明の第１の実施形態によるショットキーバリアダイオード１の構成を示す模式的な平面図である。

[図2]図２は、図１に示すＡ－Ａ線に沿った略断面図である。

[図3]図３は、第１の実施形態の第１の変形例によるショットキーバリアダイオード１Ａの構成を示す模式的な平面図である。

[図4]図４は、第１の実施形態の第２の変形例によるショットキーバリアダイオード１Ｂの構成を示す模式的な平面図である。

[図5]図５は、第１の実施形態の第３の変形例によるショットキーバリアダイ

オード１Ｃの構成を示す模式的な平面図である。

[図6]図６は、第１の実施形態の第４の変形例によるショットキーバリアダイオード１Ｄの構成を示す模式的な平面図である。

[図7]図７は、第１の実施形態の第５の変形例によるショットキーバリアダイオード１Ｅの構成を示す模式的な断面図である。

[図8]図８は、第１の実施形態の第６の変形例によるショットキーバリアダイオード１Ｆの構成を示す模式的な断面図である。

[図9]図９は、第１の実施形態の第７の変形例によるショットキーバリアダイオード１Ｇの構成を示す模式的な断面図である。

[図10]図１０は、本発明の第２の実施形態によるショットキーバリアダイオード２の構成を示す模式的な断面図である。

[図11]図１１は、本発明の第３の実施形態によるショットキーバリアダイオード３の構成を示す模式的な断面図である。

[図12]図１２は、第３の実施形態の変形例によるショットキーバリアダイオード３Ａの構成を示す模式的な断面図である。

[図13]図１３は、本発明の第４の実施形態によるショットキーバリアダイオード４の構成を示す模式的な断面図である。

[図14]図１４は、第４の実施形態の第１の変形例によるショットキーバリアダイオード４Ａの構成を示す模式的な断面図である。

[図15]図１５は、第４の実施形態の第２の変形例によるショットキーバリアダイオード４Ｂの構成を示す模式的な断面図である。

[図16]図１６は、第４の実施形態の第３の変形例によるショットキーバリアダイオード４Ｃの構成を示す模式的な断面図である。

[図17]図１７は、実施例３のシミュレーションモデルを示す模式的な断面図である。

[図18]図１８は、実施例３の結果を示す表である。

発明を実施するための形態

[0016] 以下、添付図面を参照しながら、本発明の好ましい実施形態について詳細

に説明する。

[0017] ＜第１の実施形態＞

図１は、本発明の第１の実施形態によるショットキーバリアダイオード１の構成を示す模式的な平面図である。また、図２は、図１に示すＡ－Ａ線に沿った略断面図である。

[0018] 図１及び図２に示すように、本実施形態によるショットキーバリアダイオード１は、いずれも酸化ガリウム（β－Ga_2O_3）からなる半導体基板２０及びドリフト層３０を備える。半導体基板２０及びドリフト層３０には、ｎ型ドーパントとしてシリコン（Ｓｉ）又はスズ（Ｓｎ）が導入されている。ドーパントの濃度は、ドリフト層３０よりも半導体基板２０の方が高く、これにより半導体基板２０はn^+層、ドリフト層３０はn^-層として機能する。

[0019] 半導体基板２０は、融液成長法などを用いて形成されたバルク結晶を切断加工したものであり、その厚みは２５０μｍ程度である。半導体基板２０の平面サイズについては特に限定されないが、一般的に素子に流す電流量に応じて選択することになり、順方向の最大電流量が２０Ａ程度であれば、平面視で２．４ｍｍ×２．４ｍｍ程度とすればよい。

[0020] 半導体基板２０は、実装時において上面側に位置する上面２１と、上面２１の反対側であって、実装時において基板側に位置する下面２２を有する。半導体基板２０の上面２１にはドリフト層３０が形成されている。ドリフト層３０は、半導体基板２０の上面２１に反応性スパッタリング、ＰＬＤ法、ＭＢＥ法、ＭＯＣＶＤ法、ＨＶＰＥ法などを用いて酸化ガリウムをエピタキシャル成長させた薄膜である。ドリフト層３０は、半導体基板２０の上面２１と接する下面３２と、下面３２の反対側であって、実装時において上面側に位置する上面３１を有する。ドリフト層３０の膜厚については特に限定されないが、一般的に素子の逆方向耐電圧に応じて選択することになり、６００Ｖ程度の耐圧を確保するためには、例えば７μｍ程度とすればよい。

[0021] ドリフト層３０の上面３１には、リング状に形成された外周トレンチ１１が設けられている。外周トレンチ１１の内壁は、HfO_2などからなる絶縁膜

６１で覆われている。絶縁膜６１の材料としては、HfO_2以外にAl_2O_3などの絶縁材料を用いても構わない。

[0022] ドリフト層３０の上面３１のうち、外周トレンチ１１で囲まれた領域には、ドリフト層３０とショットキー接触するアノード電極４０が形成されている。アノード電極４０は、絶縁膜６１を介して外周トレンチ１１の内部にも埋め込まれている。アノード電極４０は、例えば白金（Ｐｔ）、パラジウム（Ｐｄ）、金（Ａｕ）、ニッケル（Ｎｉ）、モリブデン（Ｍｏ）、銅（Ｃｕ）等の金属からなる。アノード電極４０は、異なる金属膜を積層した多層構造、例えば、Ｐｔ／Ａｕ、Ｐｔ／Ａｌ、Ｐｄ／Ａｕ、Ｐｄ／Ａｌ、Ｐｔ／Ｔｉ／ＡｕまたはＰｄ／Ｔｉ／Ａｕであっても構わない。外周トレンチ１１の内部に埋め込まれている金属材料は、アノード電極４０と同じ金属材料であっても構わないし、異なる金属材料であっても構わない。

[0023] 半導体基板２０の下面２２には、半導体基板２０を貫通し底部がドリフト層３０に達するリング状の裏面トレンチ１２が設けられている。そして、半導体基板の下面２２のうち、裏面トレンチ１２で囲まれた領域には、半導体基板２０とオーミック接触するカソード電極５０が設けられる。カソード電極５０は、例えばチタン（Ｔｉ）等の金属からなる。カソード電極５０は、異なる金属膜を積層した多層構造、例えば、Ｔｉ／ＡｕまたはＴｉ／Ａｌであっても構わない。

[0024] ここで、外周トレンチ１１の外周壁及び内周壁をそれぞれＥ１，Ｅ２とし、裏面トレンチ１２の外周壁及び内周壁をそれぞれＥ３，Ｅ４とした場合、内周壁Ｅ２は平面視で内周壁Ｅ４の内側に位置し、内周壁Ｅ４は平面視で外周壁Ｅ１の内側に位置し、外周壁Ｅ１は平面視で外周壁Ｅ３の内側に位置する。これにより、ドリフト層３０のうち外周トレンチ１１に囲まれた領域は、平面視で裏面トレンチ１２に囲まれた領域と重なりを有する。

[0025] カソード電極５０は、半導体基板の下面２２のうち、裏面トレンチ１２で囲まれた領域の外側に設けられておらず、裏面トレンチ１２で囲まれた領域に選択的に設けられている。このため、アノード電極４０とカソード電極５

０の間に逆方向電圧を印加すると、逆方向電流が流れる領域は、裏面トレンチ１２で囲まれた領域に制限される。このため、電界が集中しやすい外周トレンチ１１の外側エッジ近傍における電界集中が緩和される。特に、本実施形態においては、裏面トレンチの内周壁Ｅ４が、平面視で外周トレンチ１１の外周壁Ｅ１の内側に位置することから、外周トレンチ１１の外側エッジ近傍における電界集中が大幅に緩和される。しかも、裏面トレンチ１２の内周壁Ｅ４は、平面視で外周トレンチ１１の内周壁Ｅ２と外周壁Ｅ１の間に位置することから、ドリフト層３０のうち電流経路として機能する部分が細くなりすぎず、十分な断面積が確保されることから、十分なオン電流を確保することが可能となる。

[0026] 但し、本発明において、外周トレンチ１１と裏面トレンチ１２の位置関係がこれに限定されるものではない。例えば、図３に示す第１の変形例によるショットキーバリアダイオード１Ａのように、裏面トレンチ１２の外周壁Ｅ３が平面視で外周トレンチ１１の外周壁Ｅ１と内周壁Ｅ２の間に位置し、裏面トレンチ１２の内周壁Ｅ４が平面視で外周トレンチ１１の内周壁Ｅ２よりも内側に位置しても構わない。また、図４に示す第２の変形例によるショットキーバリアダイオード１Ｂのように、裏面トレンチ１２の外周壁Ｅ３が平面視で外周トレンチ１１の内周壁Ｅ２よりも内側に位置しても構わない。さらに、図５に示す第３の変形例によるショットキーバリアダイオード１Ｃのように、外周トレンチ１１の外周壁Ｅ１及び内周壁Ｅ２が平面視で裏面トレンチ１２の外周壁Ｅ３と内周壁Ｅ４の間に位置しても構わない。さらに、図６に示す第４の変形例によるショットキーバリアダイオード１Ｄのように、外周トレンチ１１の平面形状と裏面トレンチ１２の平面形状が異なっていても構わない。

[0027] また、図７に示す第５の変形例によるショットキーバリアダイオード１Ｅのように、裏面トレンチ１２の内周壁Ｅ４に露出する半導体基板２０の一部がカソード電極５０で覆われていても構わない。さらに、図８に示す第６の変形例によるショットキーバリアダイオード１Ｆのように、裏面トレンチ１

２のトレンチ幅が深さ方向に縮小するようなテーパー形状であっても構わない。この場合、裏面トレンチ１２の外周壁Ｅ３及び内周壁Ｅ４は、底部における平面位置によって定義すれば良い。外周トレンチ１１がテーパー形状である場合も同様である。

[0028] また、図９に示す第７の変形例によるショットキーバリアダイオード１Ｇのように、半導体基板２０及びドリフト層３０のうち、裏面トレンチ１２の外周に位置する部分が除去されていても構わない。つまり、裏面トレンチ１２は、内周壁Ｅ４が存在すれば足り、外周壁Ｅ３が存在しなくても構わない。

[0029] ＜第２の実施形態＞

図１０は、本発明の第２の実施形態によるショットキーバリアダイオード２の構成を示す模式的な断面図である。

[0030] 図１０に示すように、第２の実施形態によるショットキーバリアダイオード２は、外周トレンチ１１の外周領域にアノード電極４０が存在しており、アノード電極４０とドリフト層３０の上面３１の間にリング状のフィールド絶縁膜７０が介在している点において、第１の実施形態によるショットキーバリアダイオード１と相違している。したがって、アノード電極４０の外周端は、フィールド絶縁膜７０上に位置する。その他の基本的な構成は第１の実施形態によるショットキーバリアダイオード１と同一であることから、同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

[0031] 本実施形態によれば、外周トレンチ１１の外周領域に位置するアノード電極４０とドリフト層３０の間にフィールド絶縁膜７０が介在していることから、アノード電極４０の外周端近傍における電界の集中を緩和することができる。フィールド絶縁膜７０の材料としては、SiO_2などを用いることができる。

[0032] ＜第３の実施形態＞

図１１は、本発明の第３の実施形態によるショットキーバリアダイオード３の構成を示す模式的な断面図である。

[0033] 図１１に示すように、第３の実施形態によるショットキーバリアダイオード３は、裏面トレンチ１２が絶縁材料８０で埋め込まれている点において、第１の実施形態によるショットキーバリアダイオード１と相違している。絶縁材料８０は、半導体基板２０の下面２２のうち、裏面トレンチ１２の外周に位置する部分にも設けられている。その他の基本的な構成は第１の実施形態によるショットキーバリアダイオード１と同一であることから、同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

[0034] 本実施形態によれば、裏面トレンチ１２が絶縁材料８０で埋め込まれることから、全体の機械的強度が高められる。絶縁材料８０としては、SiO_2、ＳｉＮ、Al_2O_3、ＡｌＮ、ＢＮなどを用いることができる。また、絶縁材料８０としてより熱伝導性の高い材料を用いれば、放熱性を高めることも可能である。例えば、絶縁材料８０として酸化ガリウムの熱伝導率０．１～０．３Ｗ／ｃｍ・Ｋより高い材料を用いれば、放熱性を高められる。

[0035] 図１２は、変形例によるショットキーバリアダイオード３Ａの構成を示す模式的な断面図である。変形例によるショットキーバリアダイオード３Ａは、第２の実施形態によるショットキーバリアダイオード２と同様、フィールド絶縁膜７０が設けられている点において、第３の実施形態によるショットキーバリアダイオード３と相違している。このように、裏面トレンチ１２を絶縁材料８０で埋め込むとともに、フィールド絶縁膜７０を設けても構わない。

[0036] ＜第４の実施形態＞

図１３は、本発明の第４の実施形態によるショットキーバリアダイオード４の構成を示す模式的な断面図である。

[0037] 図１３に示すように、第４の実施形態によるショットキーバリアダイオード４は、ドリフト層３０の上面３１に複数の中心トレンチ１３が設けられている点において、第１の実施形態によるショットキーバリアダイオード１と相違している。その他の基本的な構成は第１の実施形態によるショットキーバリアダイオード１と同一であることから、同一の要素には同一の符号を付

し、重複する説明は省略する。

[0038] 中心トレンチ１３は、外周トレンチ１１に囲まれた領域に形成されており、いずれも平面視でアノード電極４０と重なる位置に設けられている。そして、アノード電極４０は、絶縁膜６３を介して中心トレンチ１３に埋め込まれている。本例では、中心トレンチ１３の内壁を絶縁膜６３で覆うとともに、中心トレンチ１３の内部をアノード電極４０と同じ材料で埋め込んでいるが、絶縁膜６３を用いることなく、逆導電型の半導体材料で中心トレンチ１３を埋め込んでも構わない。ここで、中心トレンチ１３と外周トレンチ１１が完全に分離されている必要はなく、外周トレンチ１１と中心トレンチ１３がつながっていても構わない。

[0039] ドリフト層３０のうちトレンチ１１，１３によって区画される部分はメサ領域Ｍを構成する。メサ領域Ｍは、アノード電極４０とカソード電極５０との間に逆方向電圧が印加されると空乏層となるため、ドリフト層３０のチャネル領域がピンチオフされる。これにより、逆方向電圧が印加された場合のリーク電流が大幅に抑制される。

[0040] 図１４は、第１の変形例によるショットキーバリアダイオード４Ａの構成を示す模式的な断面図である。変形例によるショットキーバリアダイオード４Ａは、第２の実施形態によるショットキーバリアダイオード２と同様、フィールド絶縁膜７０が設けられている点において、第４の実施形態によるショットキーバリアダイオード４と相違している。このように、複数の中心トレンチ１３を設けるとともに、フィールド絶縁膜７０を設けても構わない。

[0041] 図１５は、第２の変形例によるショットキーバリアダイオード４Ｂの構成を示す模式的な断面図である。変形例によるショットキーバリアダイオード４Ｂは、第３の実施形態によるショットキーバリアダイオード３と同様、裏面トレンチ１２が絶縁材料８０で埋め込まれている点において、第４の実施形態によるショットキーバリアダイオード４と相違している。このように、複数の中心トレンチ１３を設けるとともに、裏面トレンチ１２を絶縁材料８０で埋め込んでも構わない。

[0042] 図１６は、第３の変形例によるショットキーバリアダイオード４Ｃの構成を示す模式的な断面図である。変形例によるショットキーバリアダイオード４Ｃは、第２の変形例によるショットキーバリアダイオード４Ｂの構成に加え、フィールド絶縁膜７０が設けられた構成を有している。

[0043] 以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明は、上記の実施形態に限定されることなく、本発明の主旨を逸脱しない範囲で種々の変更が可能であり、それらも本発明の範囲内に包含されるものであることはいうまでもない。

実施例

[0044] ＜実施例１＞

図１及び図２に示したショットキーバリアダイオード１と同じ構造を有する実施例１のシミュレーションモデルを想定し、アノード電極４０とカソード電極５０の間に１０００Ｖの逆方向電圧を印加した場合の電界強度をシミュレーションした。半導体基板２０のドーパント濃度については1×10^{18}ｃｍ$^{-3}$とし、ドリフト層３０のドーパント濃度としては3×10^{16}ｃｍ$^{-3}$とした。ドリフト層３０の厚みは７μｍとした。また、外周トレンチ１１の幅は１０μｍ、深さは３μｍとした。裏面トレンチ１２の幅は１０μｍ、深さはドリフト層３０の下面３２から２μｍとした。外周トレンチ１１の内壁を覆う絶縁膜６１は厚さ５０ｎｍのHfO_2とした。アノード電極４０の材料は銅（Ｃｕ）とし、カソード電極５０はＴｉ／Ａｕの積層膜とした。

[0045] その結果、ドリフト層３０に加わる最大電界は７．１ＭＶ／ｃｍであり、酸化ガリウムの絶縁破壊電界強度である８ＭＶ／ｃｍを十分に下回っていた。

[0046] ＜実施例２＞

図１３に示したショットキーバリアダイオード４と同じ構造を有する実施例２のシミュレーションモデルを想定し、アノード電極４０とカソード電極５０の間に８００Ｖの逆方向電圧を印加した場合の電界強度をシミュレーションした。中心トレンチ１３の幅は２μｍ、深さは３μｍとした。また、ア

ノード電極４０と接する部分におけるドリフト層３０の幅、つまりメサ領域Ｍの幅は２μｍとした。絶縁膜６３は厚さ５０ｎｍのＨｆＯ$_2$膜とした。その他のパラメータは、実施例１のシミュレーションモデルと同じである。

[0047] その結果、ドリフト層３０に加わる最大電界は６．６ＭＶ／ｃｍであり、実施例１のシミュレーションモデルよりも最大電界が低かった。

[0048] ＜実施例３＞

図１及び図２に示したショットキーバリアダイオード１と同じ構造を有する実施例３のシミュレーションモデルを想定し、図１７に示すように、外周トレンチ１１の底面に沿った水平方向の仮想線をｘ軸とし、外周トレンチ１１の内周壁Ｅ２に沿った垂直方向の仮想線をｙ軸とした場合に、裏面トレンチ１２の内周エッジ（裏面トレンチ１２の内周壁Ｅ４と底面がぶつかる点）の座標Ａと、ドリフト層３０に加わる最大電界の関係をシミュレーションした。外周トレンチ１１の幅は１０μｍとし、外周トレンチ１１の外周壁Ｅ１とドリフト層３０の側壁までの距離は３０μｍとした。その他のパラメータは、実施例１のシミュレーションモデルと同じである。

[0049] 結果を図１８に示す。図１８において網掛け表示しているのは、酸化ガリウムの絶縁破壊電界強度である８ＭＶ／ｃｍに達していることを示す。図１８に示すように、座標Ａのｘ方向成分が小さいほどドリフト層３０に加わる最大電界が小さく、座標Ａのｙ方向成分が小さいほどドリフト層３０に加わる最大電界が小さかった。特に、ｘ方向成分が１０μｍである場合、つまり、外周トレンチ１１の外周壁Ｅ１と裏面トレンチ１２の内周壁Ｅ４が平面視で一致する場合、ｙ方向成分を２μｍ以下とする必要があるのに対し、ｘ方向成分が９．３μｍ以下である場合は、ｙ方向成分が３．５μｍであっても、最大電界は７．１ＭＶ／ｃｍ程度であった。

符号の説明

[0050] １～４，１Ａ～１Ｇ，３Ａ，４Ａ～４Ｃ　ショットキーバリアダイオード

１１　外周トレンチ

１２　裏面トレンチ

１３　　中心トレンチ

２０　　半導体基板

２１　　半導体基板の上面

２２　　半導体基板の下面

３０　　ドリフト層

３１　　ドリフト層の上面

３２　　ドリフト層の下面

４０　　アノード電極

５０　　カソード電極

６１，６３　　絶縁膜

７０　　フィールド絶縁膜

８０　　絶縁材料

Ｅ１，Ｅ３　　外周壁

Ｅ２，Ｅ４　　内周壁

Ｍ　　メサ領域

請求の範囲

[請求項1] 酸化ガリウムからなる半導体基板と、

酸化ガリウムからなり、前記半導体基板の上面と接する下面及び前記下面の反対側に位置する上面を有し、前記上面にリング状の外周トレンチが設けられたドリフト層と、

前記外周トレンチで囲まれた前記ドリフト層の上面とショットキー接触するとともに、前記外周トレンチの内部に絶縁膜を介して埋め込まれたアノード電極と、

前記半導体基板の前記上面とは反対側の下面とオーミック接触するカソード電極と、を備え、

前記半導体基板の前記下面には、底部が前記ドリフト層に達するリング状の裏面トレンチが設けられており、

前記カソード電極は、前記半導体基板の前記下面のうち、前記裏面トレンチで囲まれた領域の外側に設けられることなく、前記裏面トレンチで囲まれた領域に設けられており、

前記ドリフト層のうち前記外周トレンチに囲まれた領域は、平面視で前記裏面トレンチに囲まれた領域と重なりを有していることを特徴とするショットキーバリアダイオード。

[請求項2] 前記裏面トレンチの内周壁は、平面視で前記外周トレンチの外周壁の内側に位置することを特徴とする請求項１に記載のショットキーバリアダイオード。

[請求項3] 前記裏面トレンチの内周壁は、平面視で前記外周トレンチの内周壁と外周壁の間に位置することを特徴とする請求項２に記載のショットキーバリアダイオード。

[請求項4] 前記外周トレンチを囲むよう、前記ドリフト層の前記上面をリング状に覆うフィールド絶縁膜をさらに備え、

前記アノード電極の外周端は、前記フィールド絶縁膜上に位置することを特徴とする請求項１乃至３のいずれか一項に記載のショットキ

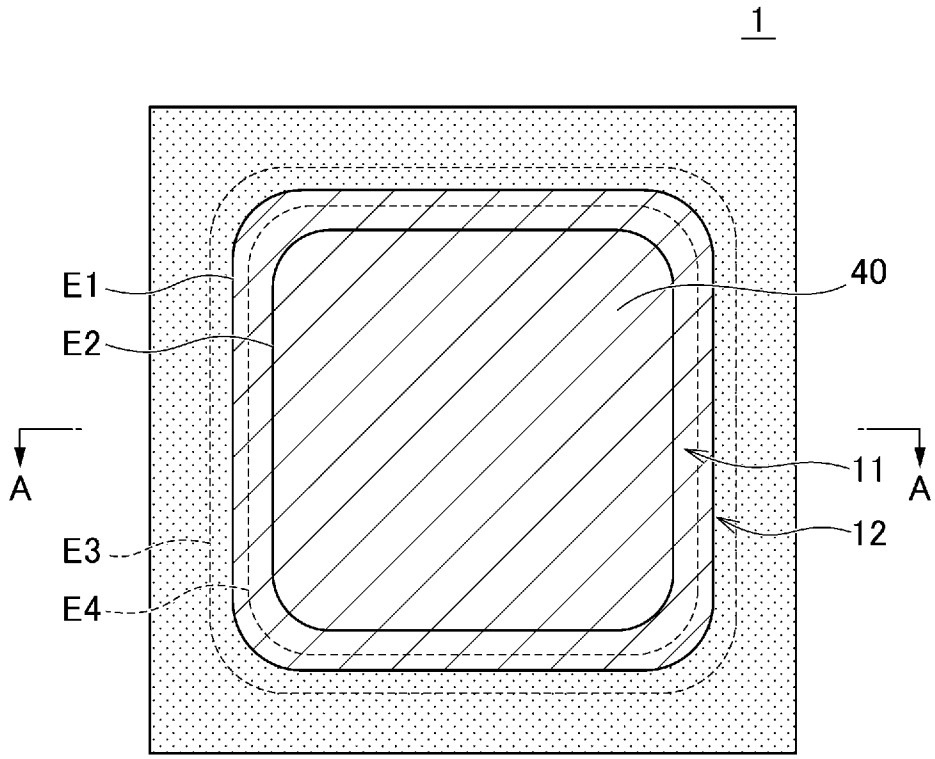
ーバリアダイオード。

[請求項5] 前記裏面トレンチが絶縁材料で埋め込まれていることを特徴とする請求項１乃至４のいずれか一項に記載のショットキーバリアダイオード。

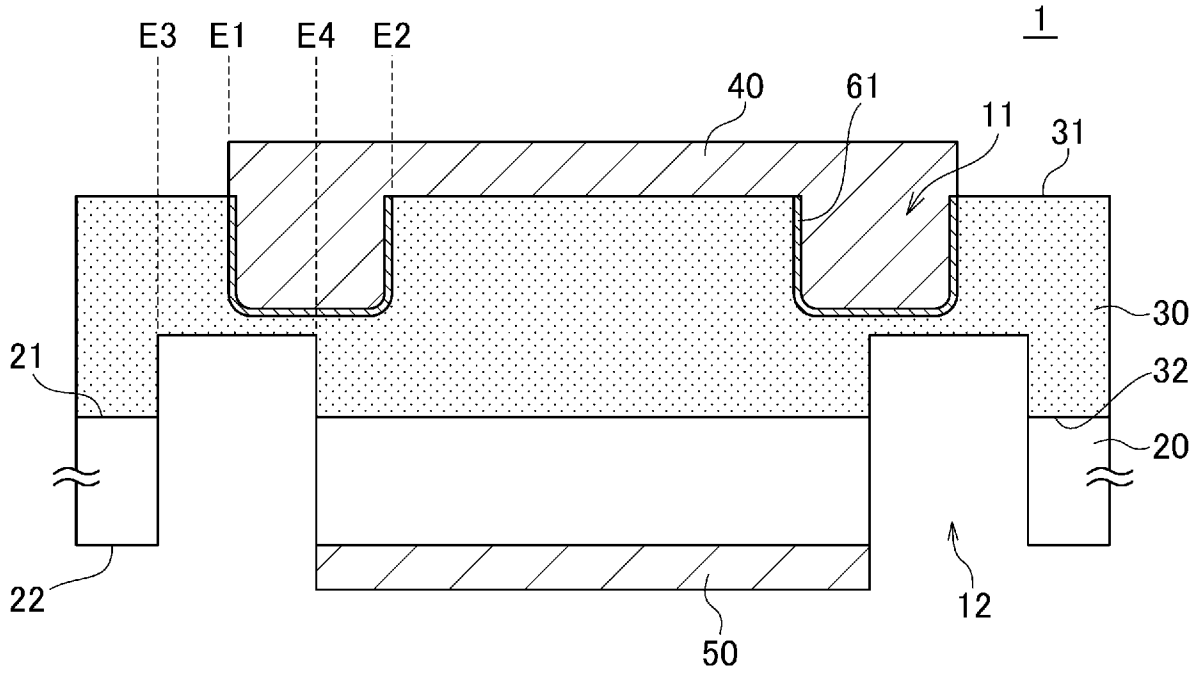
[請求項6] 前記ドリフト層の前記上面には、前記外周トレンチに囲まれた領域に形成された複数の中心トレンチが設けられており、

前記アノード電極は、前記中心トレンチの内部に絶縁膜を介して埋め込まれていることを特徴とする請求項１乃至５のいずれか一項に記載のショットキーバリアダイオード。

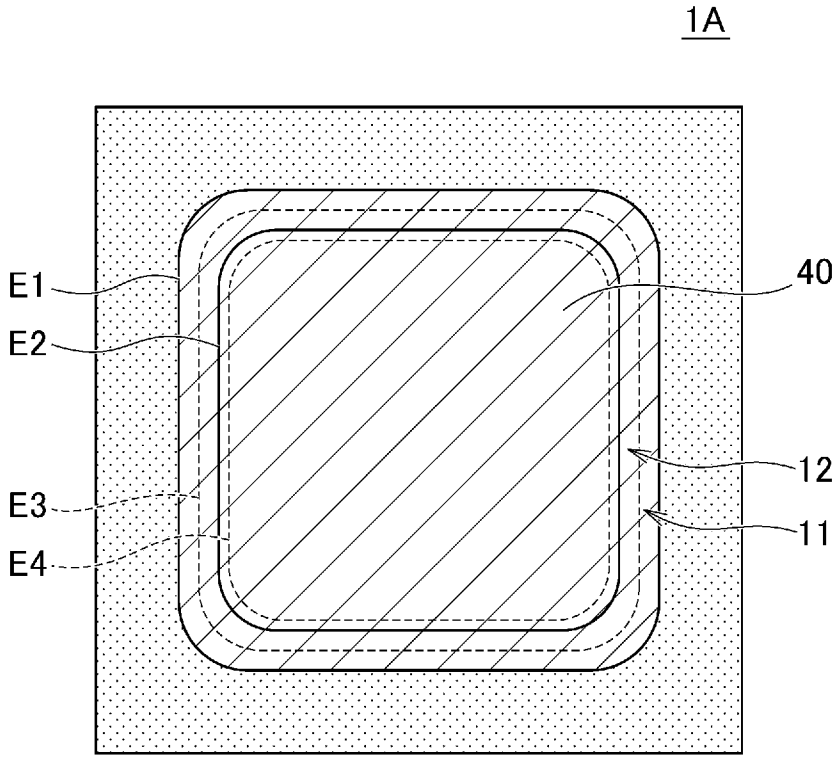
[図1]



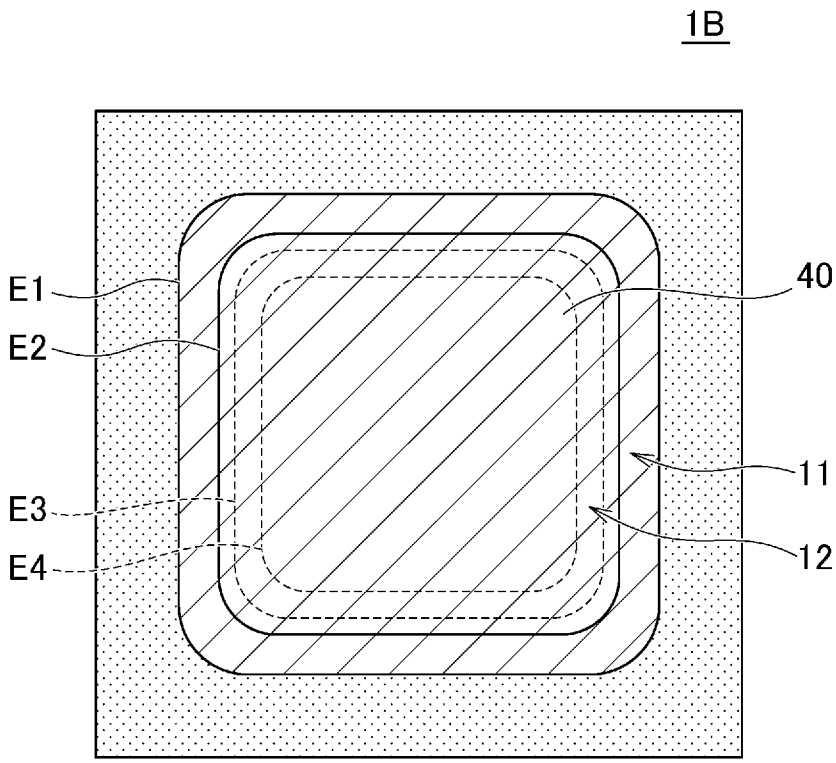
[図2]



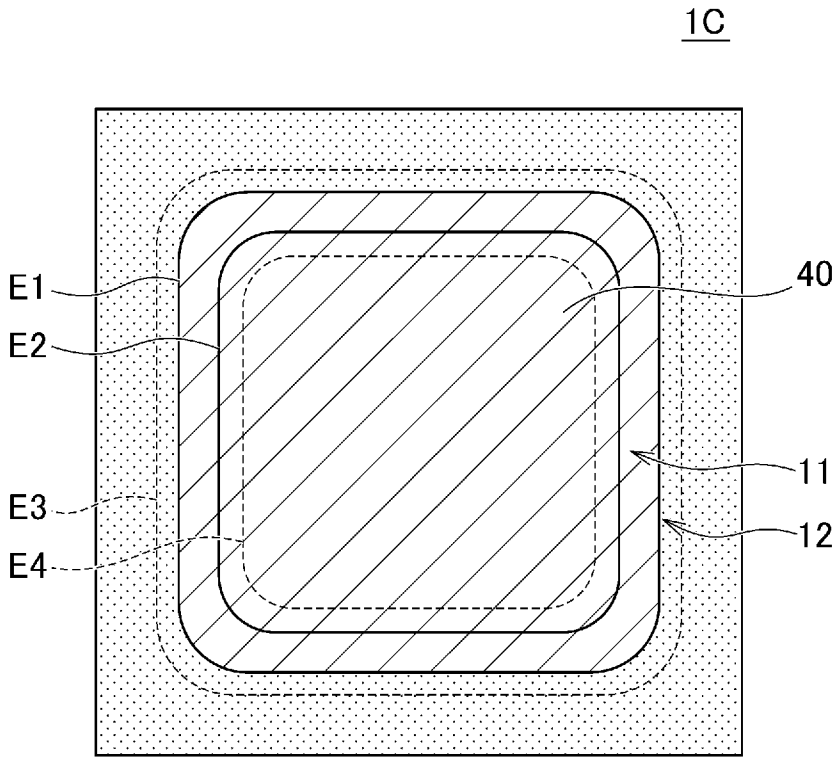
[図3]



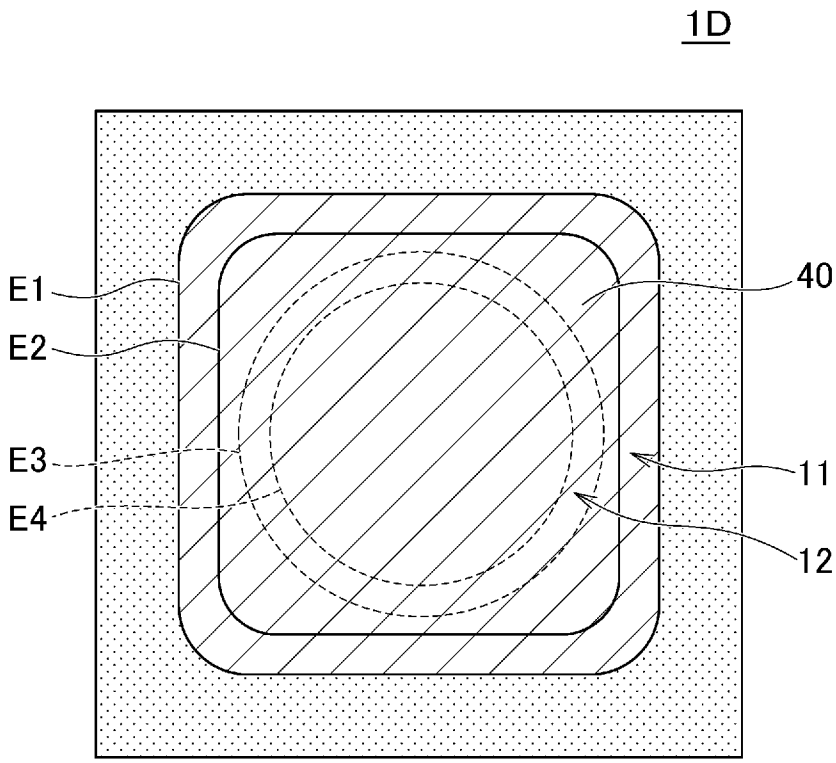
[図4]



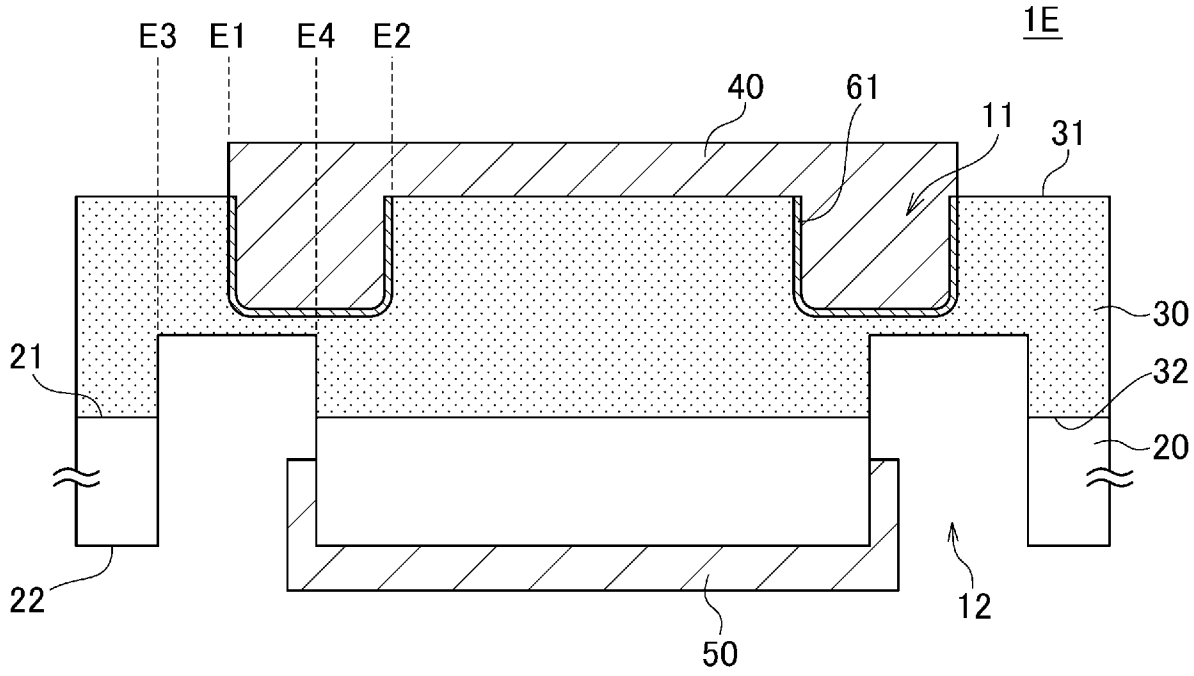
[図5]



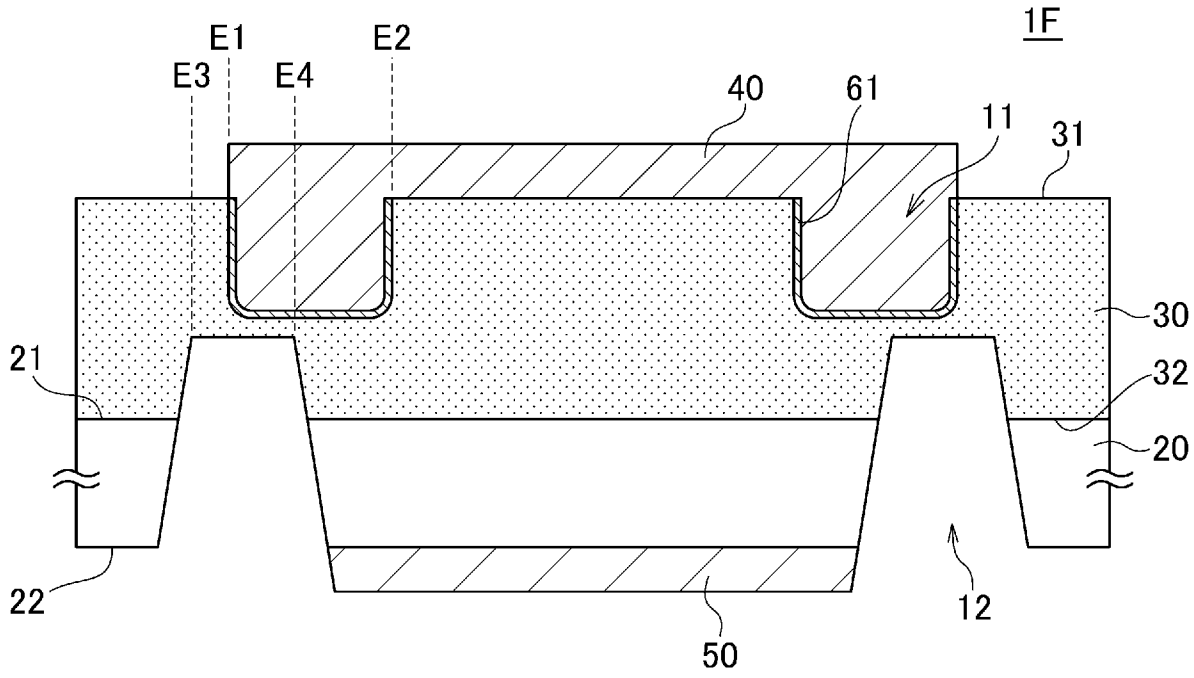
[図6]



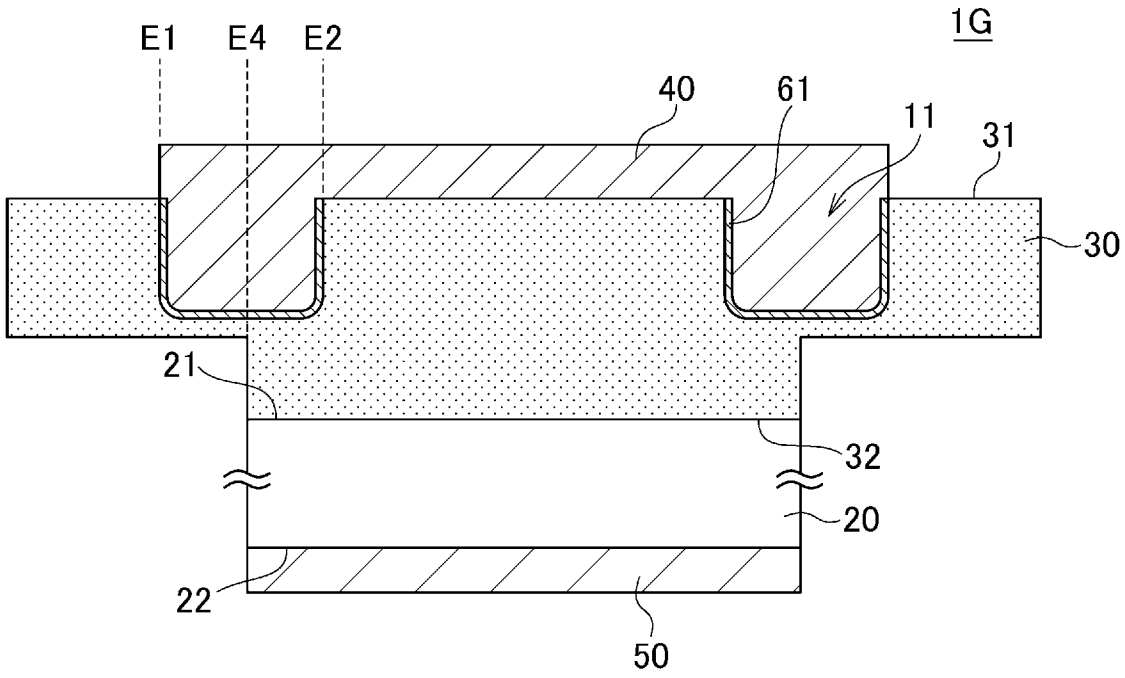
[図7]


1E
E3
E1
E4
E2
40
61
11
31
30
21
32
20
22
12
50

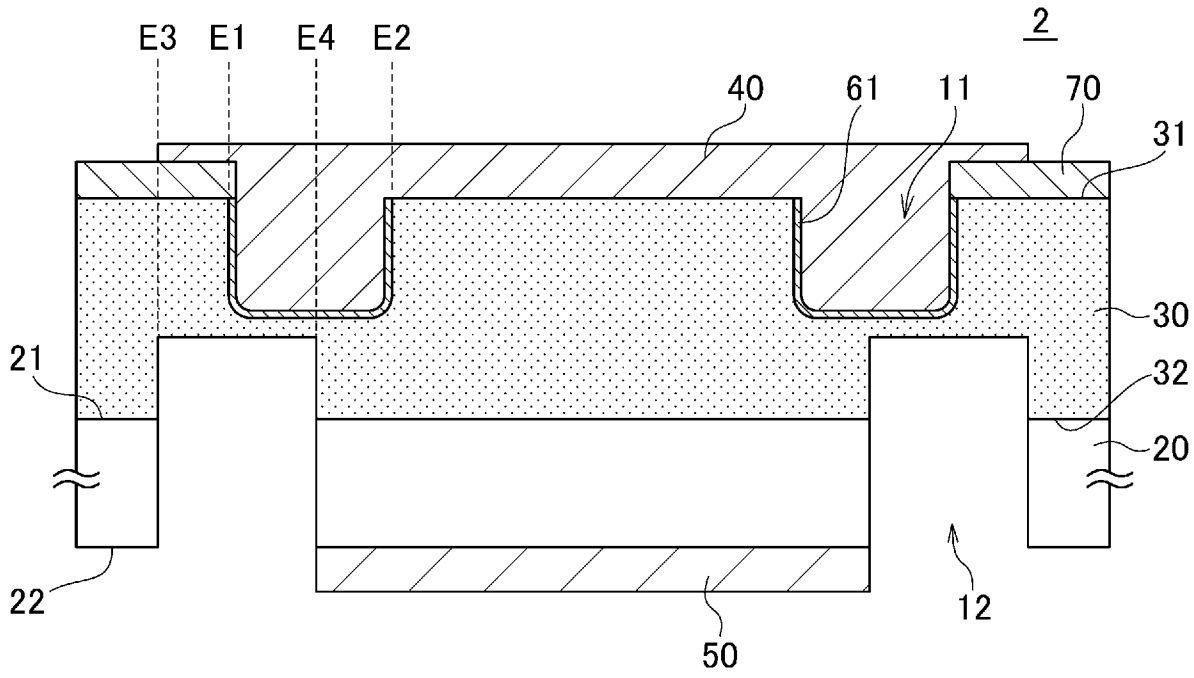
[図8]


1F
E1
E2
E3
E4
40
61
11
31
30
21
32
20
22
12
50

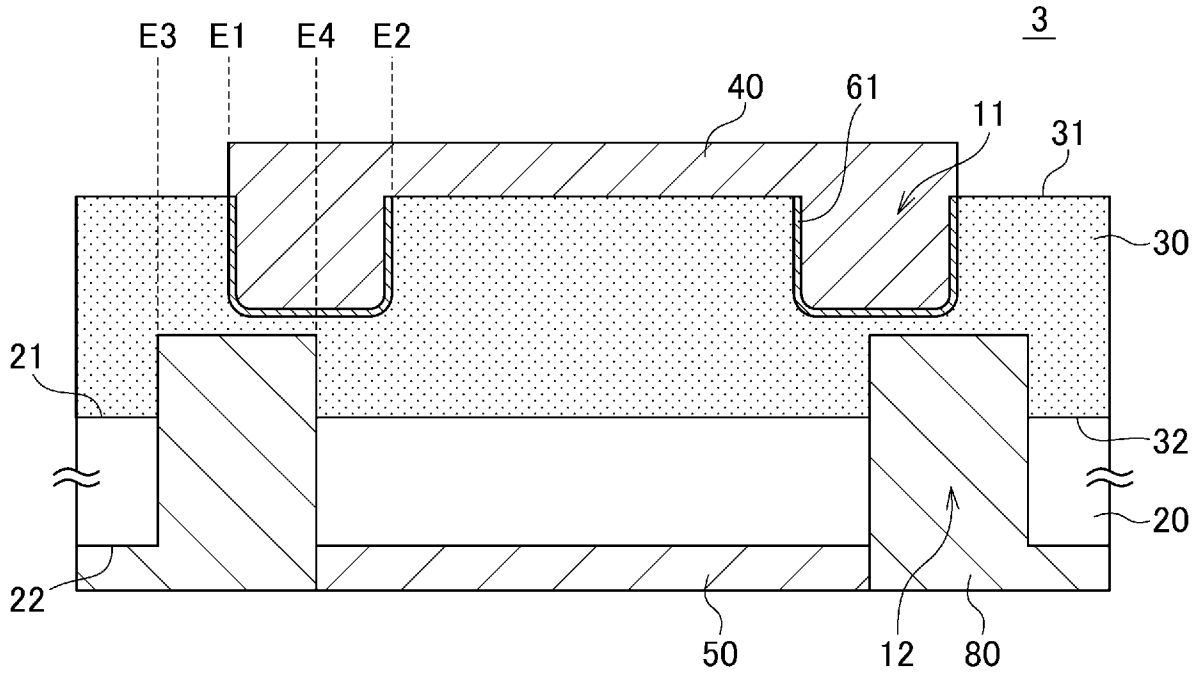
[図9]


E1
E4
E2
1G
40
61
11
31
30
21
32
20
22
50

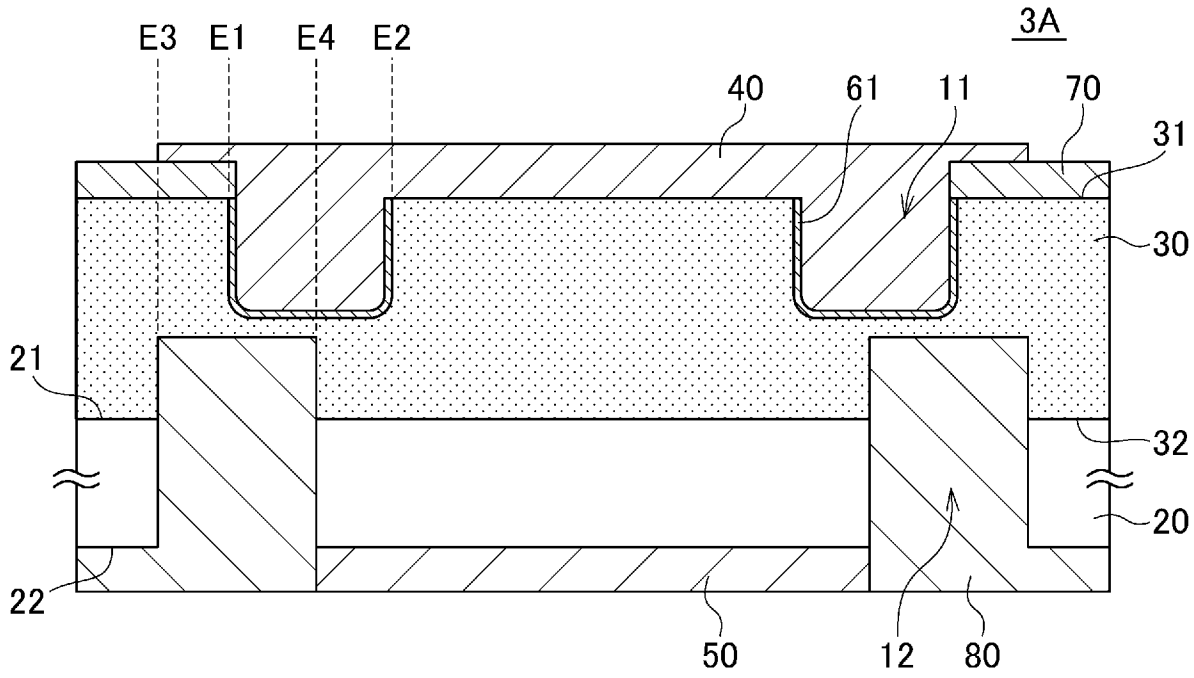
[図10]


E3
E1
E4
E2
2
40
61
11
70
31
30
21
32
20
22
12
50

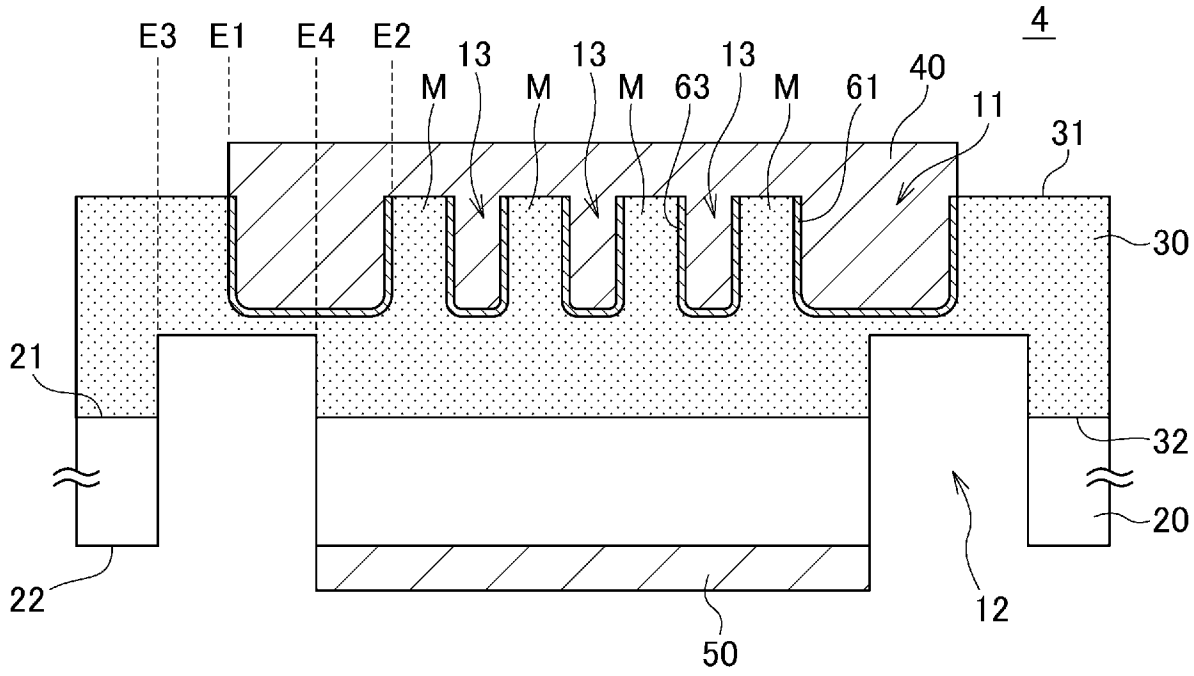
[図11]


3
E3
E1
E4
E2
40
61
11
31
30
21
32
20
22
50
12
80

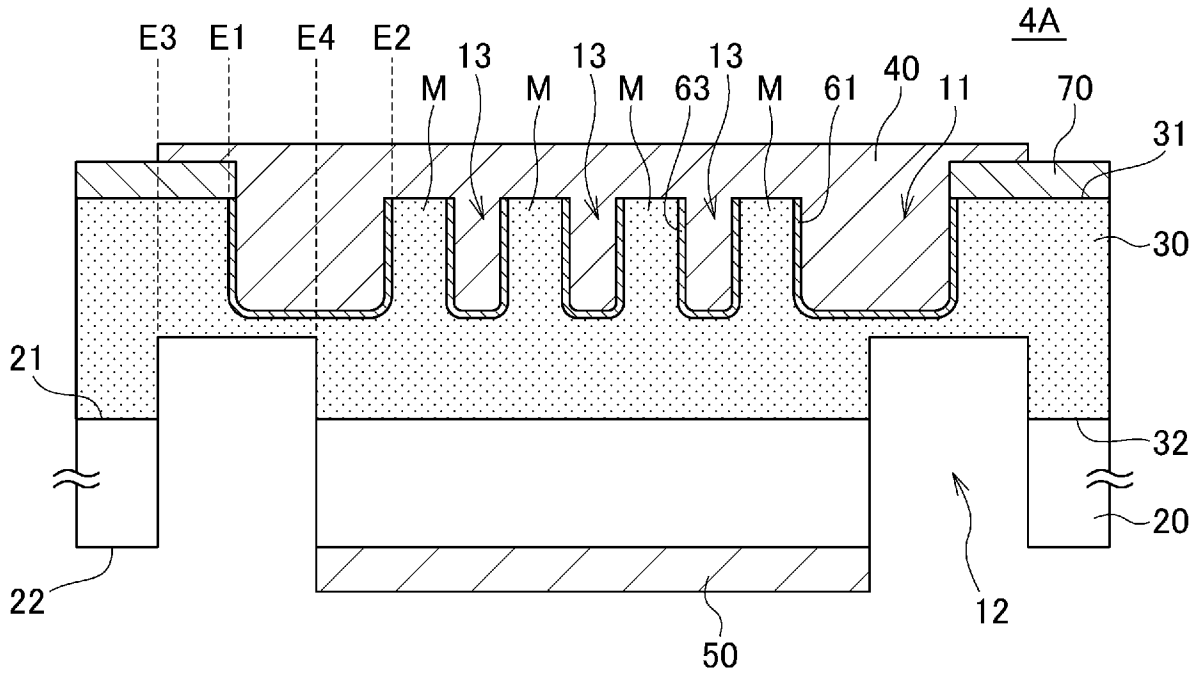
[図12]


3A
E3
E1
E4
E2
40
61
11
70
31
30
21
32
20
22
50
12
80

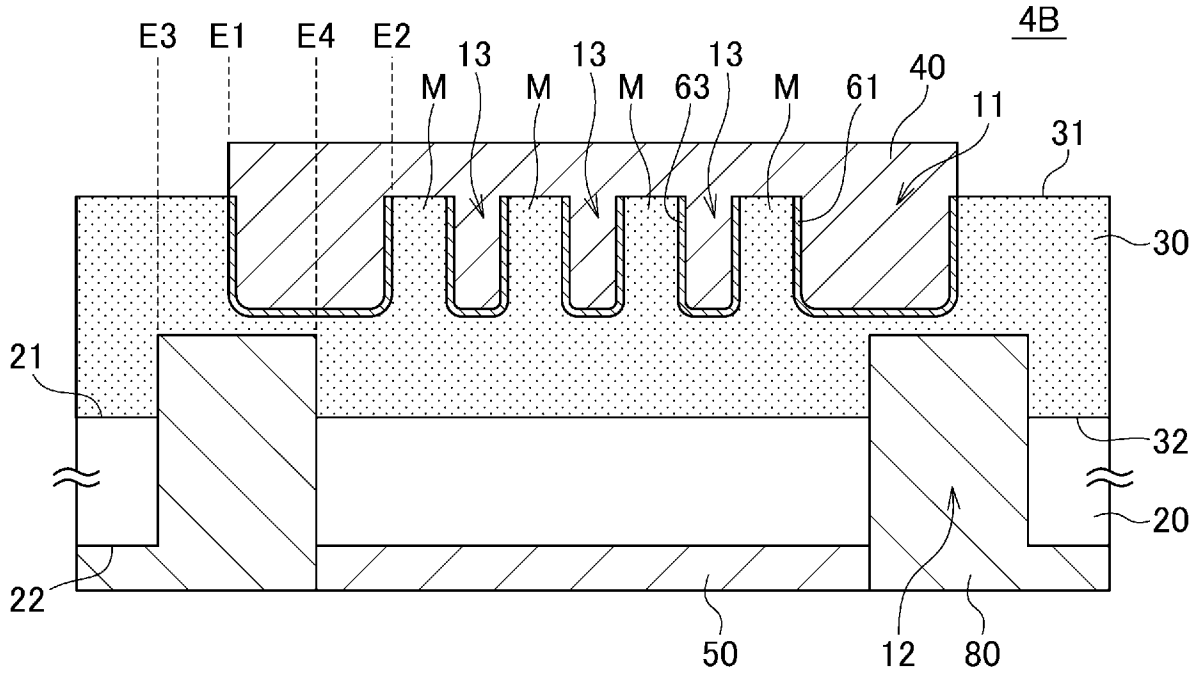
[図13]


E3
E1
E4
E2
13
M
13
M
M
63
13
M
61
40
11
4
31
30
21
32
20
22
12
50

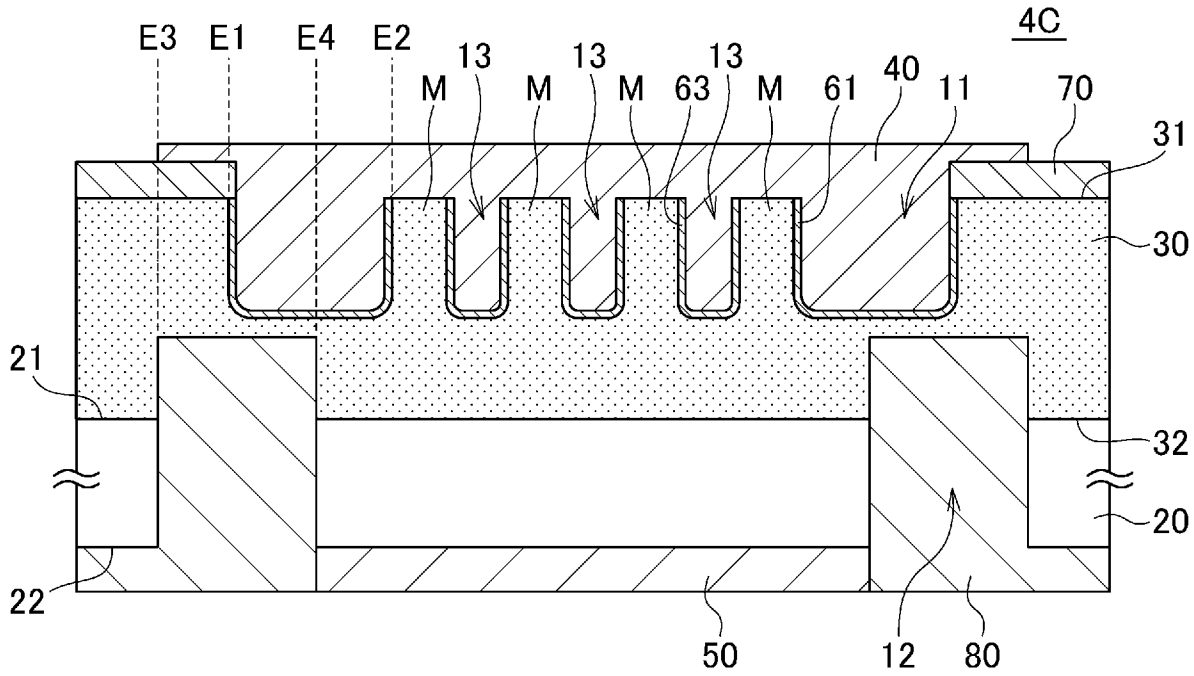
[図14]


E3
E1
E4
E2
13
M
13
M
M
63
13
M
61
40
11
4A
70
31
30
21
32
20
22
12
50

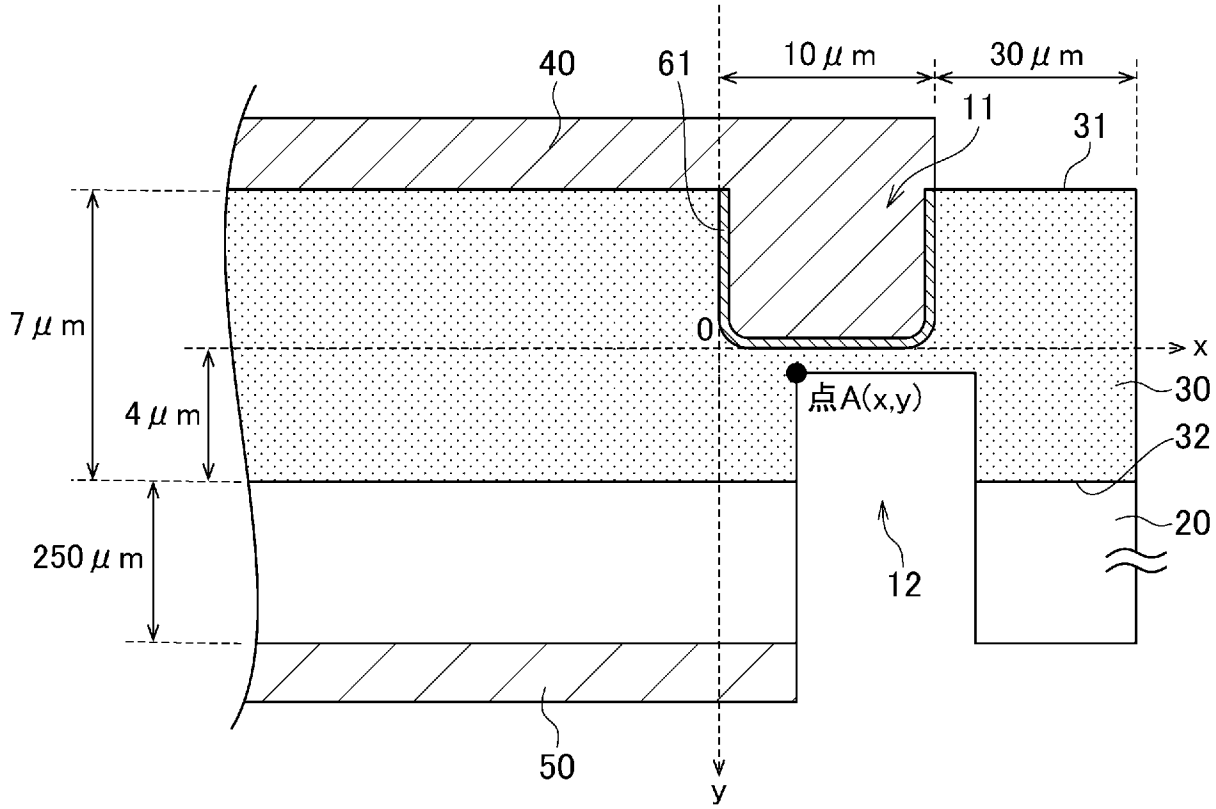
[図15]


4B
E3
E1
E4
E2
13
M
13
M
M
63
13
M
61
40
11
31
30
21
32
20
22
50
12
80

[図16]


4C
E3
E1
E4
E2
13
M
13
M
M
63
13
M
61
40
11
70
31
30
21
32
20
22
50
12
80

[図17]



[図18]

x(μ m)

y(μ m)	5	9.3	9.4	9.5	9.7	10	10.5	10.9	11.4	11.5
0.5	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.8	8.0
1	7.0	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.2	8.3	8.5
1.5	7.0	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	8.0	8.9	9.1
2	7.0	7.1	7.1	7.1	7.1	7.2	8.1	8.8	9.6	9.7
2.5	7.0	7.1	7.1	7.6	8.0	8.3	9.0	9.6	10.2	10.3
3	7.0	7.1	7.1	9.0	9.2	9.5	10.0	10.3	10.8	10.8
3.5	7.0	7.1	9.0	9.9	10.1	10.4	10.7	10.9	11.1	11.2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2021/004060

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. H01L29/06(2006.01)i, H01L29/47(2006.01)i, H01L29/872(2006.01)i
FI: H01L29/86301E, H01L29/86301D, H01L29/86301F, H01L29/48F, H01L29/48E, H01L29/48D, H01L29/06301V, H01L29/06301F, H01L29/06301M, H01L29/06301R
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, H01L29/47, H01L29/872

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.
Y	WO 2019/082580 A1 (TDK CORPORATION) 02 May 2019 (2019-05-02), paragraphs [0016]-[0031], fig. 2	1-6
Y	JP 2000-294740 A (SANSHA ELECTRIC MFG CO., LTD.) 20 October 2000 (2000-10-20), paragraphs [0012]-[0021], fig. 4	1-6
Y	JP 57-048240 A (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION) 19 March 1982 (1982-03-19), page 8, lower left column, line 10 to page 9, upper left column, line 12, fig. 8	1-2, 4-6
A	JP 52-064281 A (HITACHI, LTD.) 27 May 1977 (1977-05-27), page 1, lower right column, line 20 to page 2, upper right column, line 16, fig. 1	1-6
A	JP 55-082442 A (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION) 21 June 1980 (1980-06-21), page 5, lower right column, line 16 to page 6, upper right column, line 5, fig. 7	1-6

☐ 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
23 March 2021	30 March 2021

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
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2021/004060

WO 2019/082580 A1	02 May 2019	CN 111279490 A paragraphs [0043]-[0061], fig. 2
JP 2000-294740 A	20 October 2000	(Family: none)
JP 57-048240 A	19 March 1982	EP 44048 A1 page 16, line 4 to page 17, line 11, fig. 8
JP 52-064281 A	27 May 1977	(Family: none)
JP 55-082442 A	21 June 1980	US 4235645 A column 6, lines 11-44, fig. 7 EP 13815 A1 KR 10-1983-0000538 B1

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2021/004060

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 29/47(2006.01)i; H01L 29/872(2006.01)i
FI: H01L29/86 301E; H01L29/86 301D; H01L29/86 301F; H01L29/48 F; H01L29/48 E; H01L29/48 D; H01L29/06 301V; H01L29/06 301F; H01L29/06 301M; H01L29/06 301R

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; H01L29/47; H01L29/872

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	１９７１－２０２１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

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 2019/082580 A1（ＴＤＫ株式会社）02.05.2019（2019-05-02） 段落[0016]-[0031]，図2	1-6
Y	JP 2000-294740 A（株式会社三社電機製作所）20.10.2000（2000-10-20） 段落[0012]-[0021]，図4	1-6
Y	JP 57-048240 A（ウエスチングハウス・エレクトリツク・コーポレーシヨン）19.03.1982（1982-03-19） 第8頁左下欄第10行-第9頁左上欄第12行，第8図	1-2，4-6
A	JP 52-064281 A（株式会社日立製作所）27.05.1977（1977-05-27） 第1頁右下欄第20行-第2頁右上欄第16行，第1図	1-6
A	JP 55-082442 A（ウエスチングハウス・エレクトリツク・コーポレーシヨン）21.06.1980（1980-06-21） 第5頁右下欄第16行-第6頁右上欄第5行，第7図	1-6

☐ 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
23.03.2021	30.03.2021

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）
高橋　優斗 5F 4815
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/JP2021/004060

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2019/082580 A1	02.05.2019	CN 111279490 A 段落[0043]-[0061], 図2	
JP 2000-294740 A	20.10.2000	（ファミリーなし）	
JP 57-048240 A	19.03.1982	EP 44048 A1 第16頁第4行-第17頁第11行, 第8図	
JP 52-064281 A	27.05.1977	（ファミリーなし）	
JP 55-082442 A	21.06.1980	US 4235645 A 第6欄第11行-第6欄第44行, 第7図 EP 13815 A1 KR 10-1983-0000538 B1	