(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
2018年5月31日(31.05.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/096722 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 29/78 (2006.01) *H01L 29/41* (2006.01)
H01L 21/28 (2006.01) *H01L 29/423* (2006.01)
H01L 21/336 (2006.01) *H01L 29/49* (2006.01)
H01L 29/12 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2017/024054

(22) 国際出願日： 2017年6月29日(29.06.2017)

(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 2016-229024 2016年11月25日(25.11.2016) JP

(71) 出願人: 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目５番３３号 Osaka (JP).

(72) 発明者: 築野 孝 (TSUNO, Takashi); 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目１番１号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内 Hyogo (JP).

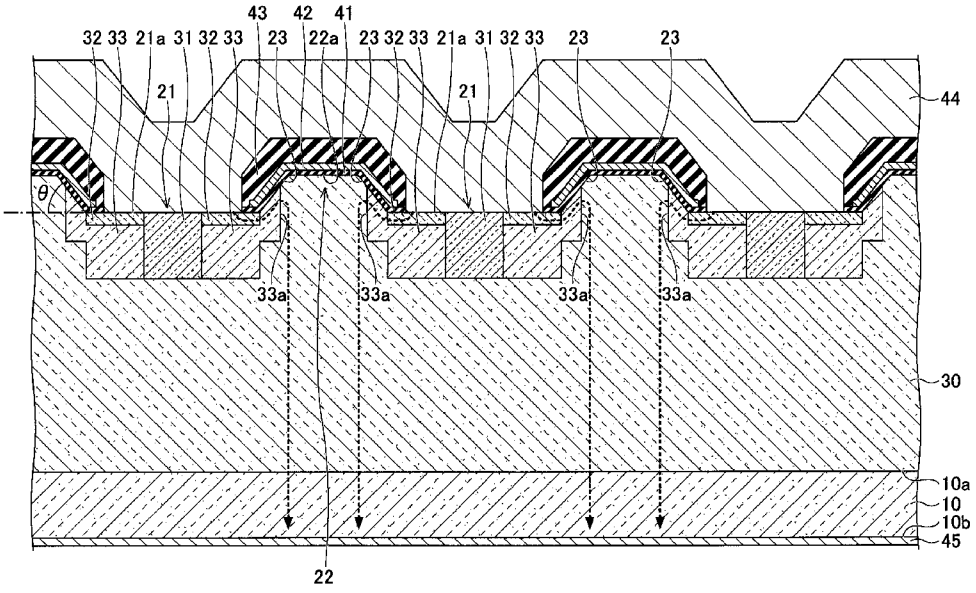
(74) 代理人: 伊東 忠重, 外 (ITOH, Tadashige et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目１番１号 丸の内ＭＹ ＰＬＡＺＡ （明治安田生命ビル） １６階 Tokyo (JP).

(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, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

(54) **Title:** SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称： 半導体装置

［図2］



(57) **Abstract:** This semiconductor device is provided with: a silicon carbide epitaxial layer which is formed on one main surface of a single crystal silicon carbide substrate; a recess and a projection, which are formed in the surface of the silicon carbide epitaxial layer; an inclined surface which is formed between the recess and the projection; a first contact region of a first conductivity type, which is formed in the inclined surface-side bottom surface of the recess, and a second contact region of a second conductivity type, which is in contact with the first contact region; a drift region of the first conductivity

WO 2018/096722 A1

［続葉有］

HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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))

type, which is formed in the upper surface of the projection; a body region of the second conductivity type, which is formed in the inclined surface between the first contact region and the drift region; a gate insulating film which covers the inclined surface; a gate electrode; a source electrode; and a drain electrode. The angle of the inclined surface to the one main surface of the single crystal silicon carbide substrate is from 40° to 70° (inclusive).

(57) 要約:半導体装置は、単結晶炭化珪素基板の一方の主面に形成された炭化珪素エピタキシャル層と、前記炭化珪素エピタキシャル層の表面に形成された凹部及び凸部と、前記凹部と前記凸部との間に形成された傾斜面と、前記凹部の底面において前記傾斜面側に形成された第１の導電型の第１のコンタクト領域及び前記第１のコンタクト領域と接する第２の導電型の第２のコンタクト領域と、前記凸部の上面に形成された第１の導電型のドリフト領域と、前記第１のコンタクト領域と前記ドリフト領域の間の前記傾斜面に形成された第２の導電型のボディ領域と、前記傾斜面を覆うゲート絶縁膜と、ゲート電極と、ソース電極と、ドレイン電極と、を有し、前記単結晶炭化珪素基板の一方の主面に対し、前記傾斜面の角度は、４０°以上７０°以下である。

明　細　書

発明の名称 ： 半導体装置

技術分野

[0001] 本開示は、半導体装置に関するものである。

[0002] 本国際出願は２０１６年１１月２５日に出願された日本国特許出願２０１６－２２９０２４号に基づく優先権を主張するものであり、その全内容をここに援用する。

背景技術

[0003] 高耐圧に対応した半導体装置として、炭化珪素半導体装置がある。このような炭化珪素半導体装置としては、チャネルが面内方向に形成されているＭＯＳＦＥＴ（metal-oxide-semiconductor field-effect transistor）が開示されている（例えば、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２０１３／１４５０２３号パンフレット

発明の概要

[0005] 本実施形態の一観点によれば、単結晶炭化珪素基板と、単結晶炭化珪素基板の一方の主面に形成された炭化珪素エピタキシャル層と、炭化珪素エピタキシャル層の表面に形成された凹部及び凸部と、凹部と凸部との間に形成された傾斜面を有している。また、凹部の底面の傾斜面側に形成された第１の導電型の第１のコンタクト領域と、凹部の底面において第１のコンタクト領域と接する第２の導電型の第２のコンタクト領域と、凸部の上面に形成された第１の導電型のドリフト領域と、第１のコンタクト領域とドリフト領域の間の傾斜面に形成された第２の導電型のボディ領域を有している。また、傾斜面を覆うゲート絶縁膜と、ゲート絶縁膜の上に形成されたゲート電極と、第１のコンタクト領域及び第２のコンタクト領域の上に形成されたソース電極と、単結晶炭化珪素基板の他方の主面に形成されたドレイン電極と、を有

している。単結晶炭化珪素基板の一方の主面に対し、前記傾斜面の角度は、４０°以上７０°以下である。

図面の簡単な説明

[0006] [図1]図１は、本開示の一態様に係る半導体装置の半導体層を模式的に示す平面図である。

[図2]図２は、本開示の一態様に係る半導体装置を模式的に示す断面図である。

[図3]図３は、本開示の一態様に係る半導体装置の製造方法の工程図（１）である。

[図4]図４は、本開示の一態様に係る半導体装置の製造方法の工程図（２）である。

[図5]図５は、本開示の一態様に係る半導体装置の製造方法の工程図（３）である。

[図6]図６は、本開示の一態様に係る半導体装置の製造方法の工程図（４）である。

[図7]図７は、本開示の一態様に係る半導体装置の製造方法の工程図（５）である。

[図8]図８は、本開示の一態様に係る半導体装置の製造方法の工程図（６）である。

[図9]図９は、本開示の一態様に係る半導体装置の製造方法の工程図（７）である。

[図10]図１０は、本開示の一態様に係る半導体装置の製造方法の工程図（８）である。

[図11]図１１は、本開示の一態様に係る半導体装置の製造方法の工程図（９）である。

[図12]図１２は、本開示の一態様に係る半導体装置の製造方法の工程図（１０）である。

[図13]図１３は、本開示の一態様に係る半導体装置の製造方法の工程図（１

１）である。

[図14]図１４は、本開示の一態様に係る半導体装置の製造方法の工程図（１２）である。

[図15]図１５は、本開示の一態様に係る半導体装置の製造方法の工程図（１３）である。

[図16]図１６は、本開示の一態様に係る半導体装置の製造方法の工程図（１４）である。

[図17]図１７は、本開示の一態様に係る半導体装置の変形例１の製造方法の説明図（１）である。

[図18]図１８は、本開示の一態様に係る半導体装置の変形例１の製造方法の説明図（２）である。

[図19]図１９は、本開示の一態様に係る半導体装置の変形例１の製造方法の説明図（３）である。

[図20]図２０は、本開示の一態様に係る半導体装置の変形例１を模式的に示す断面図である。

[図21]図２１は、本開示の一態様に係る半導体装置の変形例２を模式的に示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0007] 実施するための形態について、以下に説明する。

[0008] ［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。また本明細書の結晶学的記載においては、個別方位を［］、集合方位を＜＞、個別面を（）、集合面を｛｝でそれぞれ示している。ここで結晶学上の指数が負であることは、通常、数字の上に”－”（バー）を付すことによって表現されるが、本明細書では数字の前に負の符号を付すことによって結晶学上の負の指数を表現している。

[0009] 尚、炭化珪素には様々な結晶多系(ポリタイプ)が存在し、それぞれ物性値

が異なるが、パワーデバイスの用途には４Ｈ型が好ましい。以下では、特段の指定をすることなく、４Ｈ型の結晶構造を有する炭化珪素（４Ｈ－ＳｉＣ）について記載するものとする。

[0010] 〔１〕 本開示の一態様に係る半導体装置は、単結晶炭化珪素基板と、前記単結晶炭化珪素基板の一方の主面に形成された炭化珪素エピタキシャル層と、前記炭化珪素エピタキシャル層の表面に形成された凹部及び凸部と、前記凹部と前記凸部との間に形成された傾斜面と、前記凹部の底面の前記傾斜面側に形成された第１の導電型の第１のコンタクト領域と、前記凹部の底面において前記第１のコンタクト領域と接する第２の導電型の第２のコンタクト領域と、前記凸部の上面に形成された第１の導電型のドリフト領域と、前記第１のコンタクト領域と前記ドリフト領域の間の前記傾斜面に形成された第２の導電型のボディ領域と、前記傾斜面を覆うゲート絶縁膜と、前記ゲート絶縁膜の上に形成されたゲート電極と、前記第１のコンタクト領域及び前記第２のコンタクト領域の上に形成されたソース電極と、前記単結晶炭化珪素基板の他方の主面に形成されたドレイン電極と、を有し、前記単結晶炭化珪素基板の一方の主面に対し、前記傾斜面の角度は、４０°以上７０°以下である。

[0011] 炭化珪素の単結晶では、｛０００１｝面の炭化珪素の面内方向におけるチャネル移動度は低く、オン抵抗が高い。炭化珪素の単結晶では、｛０００１｝面よりも、｛０３－３－８｝面におけるチャネル移動度が高いことから、｛０３－３－８｝面にチャネルを形成することにより、オン抵抗を低くすることができる。

[0012] 本願発明者は、研究により、炭化珪素エピタキシャル層の表面に凹部と凸部と、凹部と凸部との間の傾斜面を形成し、この傾斜面をチャネルとした場合、電子が凹部から凸部に向かって流れることにより、電界集中が緩和されることを見出した。従って、傾斜面を｛０３－３－８｝面とし、電子が凹部から凸部に向かって流れるような構造にすることにより、チャネル移動度を高くすることができ、電界集中を緩和し、信頼性を向上させることができる

。尚、炭化珪素の単結晶では、｛０３－３－８｝面以外の｛０１－１－２｝面や｛０１－１－４｝面であっても、｛０００１｝面よりもチャネル移動度が高いことから、傾斜面は｛０１－１－２｝面や｛０１－１－４｝面により形成してもよい。

[0013] 〔２〕 前記ドリフト領域と前記ボディ領域との境界は前記傾斜面に位置しており、前記境界は、前記単結晶炭化珪素基板の一方の主面に対し垂直である。

[0014] 〔３〕 前記ボディ領域における不純物濃度は、$１\times１０^{17}ｃｍ^{-3}$以上$３\times１０^{19}ｃｍ^{-3}$以下である。

[0015] 〔４〕 前記炭化珪素エピタキシャル層における前記第２のコンタクト領域及び前記ボディ領域よりも深い位置には、前記ボディ領域よりも不純物濃度の高い第２の導電型の半導体領域が、前記第２のコンタクト領域及び前記ボディ領域と接して形成されている。

[0016] 〔５〕 前記凹部の平面形状は、六角形である。

[0017] 〔６〕 前記単結晶炭化珪素基板は４Ｈ型の結晶構造を有し、前記炭化珪素エピタキシャル層は４Ｈ型の結晶構造を有する。

[0018] 〔７〕 本開示の別の一態様に係る半導体装置は、４Ｈ型の結晶構造を有する単結晶炭化珪素基板と、４Ｈ型の結晶構造を有し、前記単結晶炭化珪素基板の一方の主面に形成された炭化珪素エピタキシャル層と、前記炭化珪素エピタキシャル層の表面に形成された凹部及び凸部と、前記凹部と前記凸部との間に形成された傾斜面と、前記凹部の底面の前記傾斜面側に形成された第１の導電型の第１のコンタクト領域と、前記凹部の底面において前記第１のコンタクト領域と接する第２の導電型の第２のコンタクト領域と、前記凸部の上面に形成された第１の導電型のドリフト領域と、前記第１のコンタクト領域と前記ドリフト領域の間の前記傾斜面に形成された第２の導電型のボディ領域と、前記傾斜面を覆うゲート絶縁膜と、前記ゲート絶縁膜の上に形成されたゲート電極と、前記第１のコンタクト領域及び前記第２のコンタクト領域の上に形成されたソース電極と、前記単結晶炭化珪素基板の他方の主

面に形成されたドレイン電極と、を有し、前記単結晶炭化珪素基板の一方の主面に対し、前記傾斜面の角度は、４０°以上７０°以下であり、前記ドリフト領域と前記ボディ領域との境界は前記傾斜面に位置しており、前記境界は、前記単結晶炭化珪素基板の一方の主面に対し垂直であり、前記ボディ領域における不純物濃度は、$1\times10^{17}cm^{-3}$以上$3\times10^{19}cm^{-3}$以下である。

[0019] ［本開示の実施形態の詳細］

以下、本開示の一実施形態（以下「本実施形態」と記す）について詳細に説明するが、本実施形態はこれらに限定されるものではない。

[0020] 〔炭化珪素半導体装置〕

以下、本実施形態における炭化珪素半導体装置について図１及び図２に基づき説明する。尚、図１は、本実施形態における半導体装置の半導体部分の上面図であり、図２は、図１における一点鎖線１Ａ－１Ｂに対応する部分で切断した半導体装置の断面図である。ただし、図１では、図２に示すゲート絶縁膜４１、ゲート電極４２、層間絶縁膜４３及びソース電極４４等の記載は省略している。

[0021] 本実施形態における半導体装置は、炭化珪素基板の一方の主面に形成された炭化珪素エピタキシャル層の表面に、複数の凹部と凸部が形成されており、凹部と凸部の間に傾斜面を有している構造の縦型ＭＯＳＦＥＴである。

[0022] 具体的には、ｎ型の単結晶炭化珪素基板１０の一方の主面１０ａの上には、ｎドリフト領域３０等を形成するための炭化珪素エピタキシャル層が形成されており、この炭化珪素エピタキシャル層の表面には、複数の凹部２１と凸部２２が形成されている。凹部２１の底面は六角形の形状で形成されており、凸部２２は、六角形の凹部２１の周囲を囲むように形成されている。また、凹部２１と凸部２２との間には、傾斜面２３が形成されており、この傾斜面２３は、チャネル移動度の高い｛０３－３－８｝面となっている。従って、本実施形態における半導体装置は、凹部２１と凹部２１の間には、凸部２２が形成されており、凸部２２の両側には傾斜面２３が形成されている構

造のものである。図１において、後述するｐ＋コンタクト領域３１及びｎ＋コンタクト領域３２が形成された領域が凹部２１であり、ｐボディ領域３３が形成された領域及びｎドリフト領域３０の一部が形成された領域が傾斜面２３であり、傾斜面２３の外側のｎドリフト領域３０が形成された領域が凸部２２である。実線２２ｂは、傾斜面２３と凸部２２との境界を示す。

[0023] 尚、本実施の形態においては、単結晶炭化珪素基板１０は４Ｈ型の結晶構造を有し、単結晶炭化珪素基板１０の一方の主面１０ａの上に形成された炭化珪素エピタキシャル層も４Ｈ型の結晶構造を有する。

[0024] 尚、｛０００１｝面に対する｛０３－３－８｝面の角度は、約５４．７°である。また、炭化珪素の単結晶では、｛０３－３－８｝面以外の｛０１－１－２｝面や｛０１－１－４｝面であっても、｛０００１｝面よりも、チャネル移動度が高いことから、傾斜面２３は、これらの面により形成されているものであってもよい。また、｛０１－１－２｝面の｛０００１｝面に対する角度は、６２．１°であり、｛０１－１－４｝面の｛０００１｝面に対する角度は、４３．３°である。

[0025] 本実施形態においては、単結晶炭化珪素基板１０の一方の主面１０ａ等に対する傾斜面２３の角度θは、４０°以上７０°以下が好ましい。単結晶炭化珪素基板１０の一方の主面１０ａ等に対する傾斜面２３の角度θが、４０°未満の場合には、傾斜面２３が広くなり、半導体装置が大型になり、７０°を超えると、後述するｐボディ領域３３をイオン注入により形成することが困難となるからである。

[0026] 凹部２１の底面２１ａの中央部分には、ｐ＋コンタクト領域３１が形成されており、凹部２１の底面２１ａのｐ＋コンタクト領域３１の周囲には、ｎ＋コンタクト領域３２が形成されている。また、ｎ＋コンタクト領域３２よりも深い位置には、ｐボディ領域３３が形成されている。ｐボディ領域３３は、ｎ＋コンタクト領域３２の下端と接している。

[0027] ｎドリフト領域３０は、凹部２１の底面２１ａでは、ｐ＋コンタクト領域３１及びｐボディ領域３３よりも深い位置に形成されており、凸部２２はｎド

リフト領域３０により形成されており、傾斜面２３では、ｐボディ領域３３とｎドリフト領域３０とが接している。

[0028] 本実施形態における半導体装置においては、ｎ型の単結晶炭化珪素基板１０の不純物濃度は、$1\times10^{19}cm^{-3}$であり、ｎドリフト領域３０の不純物濃度は、1×10^{15}～$2\times10^{16}cm^{-3}$である。また、p^+コンタクト領域３１の不純物濃度は、$2\times10^{20}cm^{-3}$であり、n^+コンタクト領域３２の不純物濃度は、$1\times10^{20}cm^{-3}$である。ｐボディ領域３３の不純物濃度は、$1\times10^{17}cm^{-3}$以上$3\times10^{19}cm^{-3}$以下であり、例えば、約$5\times10^{17}cm^{-3}$となるように形成されている。

[0029] また、本実施形態における半導体装置は、凸部２２の上面２２ａ、傾斜面２３、傾斜面２３の近傍の凹部２１の底面２１ａの上には、ゲート絶縁膜４１が形成されており、ゲート絶縁膜４１の上には、ゲート電極４２が形成されている。従って、ゲート電極４２は、ゲート絶縁膜４１を介し、凸部２２の上面２２ａ、傾斜面２３、傾斜面２３の近傍の凹部２１の底面２１ａの上に形成されている。

[0030] また、ゲート電極４２及びゲート絶縁膜４１の上には、層間絶縁膜４３が形成されており、層間絶縁膜４３により、ゲート電極４２が覆われている。更に、凹部２１の底面２１ａの上には、ソース電極４４が形成されており、ソース電極４４は、凹部２１の底面２１ａにおけるp^+コンタクト領域３１及びn^+コンタクト領域３２と接触している。ソース電極４４は、層間絶縁膜４３の上にも形成されており、複数の凹部２１の底面２１ａが１つのソース電極４４により接続されている。また、単結晶炭化珪素基板１０の他方の主面１０ｂの上には、ドレイン電極４５が形成されている。

[0031] 本実施形態においては、ｐボディ領域３３とｎドリフト領域３０との境界３３ａは、傾斜面２３に位置している。また、傾斜面２３の近傍では、ｐボディ領域３３とｎドリフト領域３０との境界３３ａは、単結晶炭化珪素基板１０の一方の主面１０ａ等に対し垂直となっている。本実施形態においては、単結晶炭化珪素基板１０の一方の主面１０ａ及び他方の主面１０ｂは、単

結晶炭化珪素基板１０の｛０００１｝面（ｃ面）に対するオフ角が－３°以上３°となっているオフ基板が用いられている。傾斜面２３は、チャネル移動度の高い｛０３－３－８｝面により形成されているため、単結晶炭化珪素基板１０の一方の主面１０ａ等に対する傾斜面２３の角度θは、約５５°±３°である。よって、ｐボディ領域３３とｎドリフト領域３０との境界３３ａと、傾斜面２３とのなす角は、ｐボディ領域３３側よりも、ｎドリフト領域３０側の方が広くなっている。

[0032] 本実施形態においては、ゲート電極４２に正の電圧を印加した場合に、ｐボディ領域３３の傾斜面２３にチャネルが形成され、ｐボディ領域３３を介しｎ$^+$コンタクト領域３２とｎドリフト領域３０とが電気的に接続される。これにより、キャリアである電子は、破線矢印に示されるように、ソース電極４４から、ｎ$^+$コンタクト領域３２、ｐボディ領域３３、ｎドリフト領域３０、単結晶炭化珪素基板１０、ドレイン電極４５の順に流れる。従って、チャネルの形成されるｐボディ領域３３では、電子はチャネルの形成される傾斜面２３に沿って、凸部２２の上面２２ａに向かって流れ、ｎドリフト領域３０に入ると、ドレイン電極４５が形成されている単結晶炭化珪素基板１０の側に向かって流れる。

[0033] 本実施形態においては、チャネルが形成されるｐボディ領域３３の傾斜面２３が、チャネル移動度の高い｛０３－３－８｝面となるため、オン抵抗を低くすることができる。また、チャネルの形成されるｐボディ領域３３の傾斜面２３よりも、ソース電極４４がｎ$^+$コンタクト領域３２と接触している位置が低くなるため、ゲート絶縁膜４１における電界集中を緩和させることができ、半導体装置の信頼性を向上させることができる。

[0034] 〔半導体装置の製造方法〕

次に、本実施形態における半導体装置の製造方法について説明する。

[0035] 最初に、図３に示すように、ｎ型の単結晶炭化珪素基板１０を準備し、図４に示すように、単結晶炭化珪素基板１０の一方の主面１０ａに、ｎ型の導電型の炭化珪素エピタキシャル層２０を形成する。炭化珪素エピタキシャル

層２０は、ｎドリフト領域３０、ｐ$^+$コンタクト領域３１、ｎ$^+$コンタクト領域３２、ｐボディ領域３３を形成するために形成する。具体的には、炭化珪素エピタキシャル層２０にイオン注入することにより、ｐ$^+$コンタクト領域３１、ｎ$^+$コンタクト領域３２、ｐボディ領域３３が形成され、炭化珪素エピタキシャル層２０においてイオン注入されなかった領域が、ｎドリフト領域３０となる。

[0036] 炭化珪素エピタキシャル層２０は、ＣＶＤ（chemical vapor deposition）によるエピタキシャル成長により形成する。この際、原料ガスとしては、シラン（SiH_4）とプロパン（C_3H_8）との混合ガスを用い、キャリアガスとしては、水素ガス（H_2）が用いられる。尚、導電型がｎ型となる不純物元素としては、例えば、窒素（Ｎ）やリン（Ｐ）等が用いられる。炭化珪素エピタキシャル層２０にドープされる不純物元素の濃度は、$5\times10^{15}cm^{-3}$以上$5\times10^{16}cm^{-3}$以下が好ましい。このようにして、単結晶炭化珪素基板１０の一方の主面１０ａの上には、表面２０ａとなる炭化珪素エピタキシャル層２０が形成される。本実施形態においては、ｎ型となる不純物元素としては、Ｎが用いられており、ｎ型の単結晶炭化珪素基板１０における不純物元素の濃度は、$3\times10^{18}cm^{-3}$である。

[0037] 次に、図５に示すように、炭化珪素エピタキシャル層２０の表面２０ａに、複数の凹部２１を形成する。具体的には、炭化珪素エピタキシャル層２０の表面２０ａにフォトレジストを塗布し、露光装置による露光、現像を行うことにより、凹部２１が形成される領域に開口６１ａを有するエッチングマスク６１を形成する。この後、エッチングマスク６１の形成されていない領域の炭化珪素エピタキシャル層２０を表面２０ａよりＲＩＥ等のドライエッチングにより一部除去することにより、複数の凹部２１を形成する。ＲＩＥ等のドライエッチングの方法としては、ＩＣＰ（Inductive Coupled Plasma：誘導結合プラズマ）－ＲＩＥ等が挙げられ、エッチングガスとしては、SF_6またはSF_6とO_2との混合ガスを用いることができる。これにより、複数の凹部２１と凸部２２が形成され、凹部２１の側壁は、単結晶炭化珪素基板１

０の一方の主面１０ａに対し略垂直に形成される。このように形成される凹部２１は、上面から見た形状が六角形である。

[0038] 次に、図６に示すように、凹部２１の底面２１ａの中央部分にｐ型となる不純物元素をイオン注入することにより、ｐ$^+$コンタクト領域３１を形成する。具体的には、エッチングマスク６１を除去した後、ｐ$^+$コンタクト領域３１が形成される領域に開口６２ａを有するイオン注入マスク６２を形成する。この後、開口６２ａが形成されている領域の炭化珪素エピタキシャル層２０に、ｐ型となる不純物元素をイオン注入することによりｐ$^+$コンタクト領域３１を形成する。ｐ型となる不純物元素としてはＡｌ等が挙げられ、ｐ$^+$コンタクト領域３１における不純物濃度が、所望の深さまで、所望の濃度となるように、ドーズ量及び加速電圧を調整してイオン注入を行う。本実施形態においては、ｐ$^+$コンタクト領域３１における不純物濃度は、$1\times10^{20}cm^{-3}$である。

[0039] 次に、図７に示すように、凹部２１の底面２１ａにおけるｐ$^+$コンタクト領域３１の周囲にｎ型となる不純物元素をイオン注入することにより、ｎ$^+$コンタクト領域３２を形成する。具体的には、イオン注入マスク６２を除去した後、凹部２１の底面２１ａに開口６３ａを有するイオン注入マスク６３を形成する。この後、開口６３ａが形成されている領域の炭化珪素エピタキシャル層２０に、ｎ型となる不純物元素をイオン注入することによりｎ$^+$コンタクト領域３２を形成する。ｎ型となる不純物元素としてはＮ、Ｐ等が用いられる。ｎ$^+$コンタクト領域３２は、ｐ$^+$コンタクト領域３１よりも浅い領域に形成される。このため、ｐ$^+$コンタクト領域３１の浅い領域にもｎ型となる不純物元素が注入されるが、ｎ$^+$コンタクト領域３２に注入される不純物元素の濃度は、ｐ$^+$コンタクト領域３１における不純物元素の濃度よりも低いためｐ型が保たれる。従って、ｎ$^+$コンタクト領域３２における不純物濃度が、所望の深さまで、所望の濃度となるように、ドーズ量及び加速電圧を調整してイオン注入を行う。本実施形態においては、ｎ$^+$コンタクト領域３２における不純物濃度は、$5\times10^{19}cm^{-3}$である。

[0040] 次に、図８に示すように、凹部２１の底面２１ａのｎ$^{+}$コンタクト領域３２よりも深い領域及び凹部２１の周囲の凸部２２の一部に、ｐ型となる不純物元素をイオン注入することにより、ｐボディ領域３３を形成する。具体的には、イオン注入マスク６３を除去した後、ｐボディ領域３３が形成される領域に開口６４ａを有するイオン注入マスク６４を形成する。この後、開口６４ａが形成されている領域の炭化珪素エピタキシャル層２０に、ｐ型となる不純物元素をイオン注入することにより、ｐボディ領域３３を形成する。これにより、ｎ$^{+}$コンタクト領域３２よりも深い領域及び凹部２１の近傍の凸部２２の一部に、ｐボディ領域３３が形成される。

[0041] この工程では、ｐボディ領域３３における不純物濃度が、所望の深さまで、所望の濃度となるように、ドーズ量及び加速電圧を調整してイオン注入を行う。本実施形態においては、ｐボディ領域３３における不純物濃度は、２×１０^{17}ｃｍ$^{-3}$である。

[0042] このイオン注入では、ｐ型となる不純物元素がｎ$^{+}$コンタクト領域３２にも注入されるが、ｐボディ領域３３に注入される不純物元素の濃度は、ｎ$^{+}$コンタクト領域３２における不純物元素の濃度よりも低いためｎ型が保たれる。また、ｐ$^{+}$コンタクト領域３１にもｐ型となる不純物元素が注入されるが、同じｐ型であるためｐ型のままである。このように、炭化珪素エピタキシャル層２０に不純物元素をイオン注入することにより、ｐ$^{+}$コンタクト領域３１、ｎ$^{+}$コンタクト領域３２、ｐボディ領域３３が形成される。従って、炭化珪素エピタキシャル層２０において、不純物元素がイオン注入されていない領域がｎドリフト領域３０となる。以降、炭化珪素エピタキシャル層２０において、不純物元素がイオン注入されていない領域をｎドリフト領域３０として説明する。このように、炭化珪素エピタキシャル層２０に、イオン注入をすることにより、ｐボディ領域３３が形成されるため、ｎドリフト領域３０とｐボディ領域３３との境界３３ａは、単結晶炭化珪素基板１０の一方の主面１０ａに対し略垂直に形成される。

[0043] 次に、図９に示されるように、熱エッチングを行うことにより、凹部２１

と凸部２２の間に、｛０３－３－８｝面となる傾斜面２３を形成する。具体的には、イオン注入マスク６４を除去した後、ＣＶＤ等によりシリコン酸化膜を全面に成膜した後、成膜されたシリコン酸化膜の上に、フォトレジストを塗布し、露光装置による露光、現像を行う。これにより、熱エッチングマスク６５が形成される領域のシリコン酸化膜の上に不図示のレジストパターンが形成される。この後、レジストパターンの形成されていない領域のシリコン酸化膜をＲＩＥ等のドライエッチングにより除去し、凹部２１の底面２１ａ及び側面、凹部２１の近傍における凸部２２の上面２２ａの一部を露出させる。この後、不図示のレジストパターンを除去することにより、残存するシリコン酸化膜により熱エッチングマスク６５を形成する。熱エッチングマスク６５は、凸部２２の上面２２ａのｎドリフト領域３０の上に形成されており、熱エッチングマスク６５と境界３３ａとの間では、ｎドリフト領域３０が一部露出している。

[0044] この後、熱エッチングマスク６５をマスクとして用いて、熱エッチングを行う。この熱エッチングでは、酸素ガスと塩素ガスとの混合ガスを反応ガスとして用い、例えば、７００℃以上１０００℃以下の温度で行う。これにより、熱エッチングマスク６５が形成されていない領域におけるｎドリフト領域３０、p^+コンタクト領域３１、n^+コンタクト領域３２、ｐボディ領域３３の一部において、所定の結晶面である｛０３－３－８｝面が表出する。このようにして、熱エッチングにより、凹部２１と凸部２２との間に、傾斜面２３となる｛０３－３－８｝面を形成することができる。

[0045] この熱エッチングにおいては、$SiC+mO_2+nCl_2 \rightarrow SiCl_x+CO_y$（ただし、ｍ、ｎ、ｘ、ｙは正の数）と表される反応式において、０．５≦ｘ≦２．０、１．０≦ｙ≦２．０というｘおよびｙの条件が満たされる場合に主な反応が進む。また、ｘ＝４、ｙ＝２という条件の場合が最も反応（熱エッチング）が進む。尚、反応ガスは、上述した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、例えば、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

。上述のように、７００℃以上１０００℃以下の温度で熱エッチングを行った場合、ＳｉＣのエッチング速度はたとえば７０μｍ／ｈｒ程度になる。また、熱エッチングマスク６５として酸化シリコン（SiO_2）を用いると、SiO_2に対するＳｉＣの選択比は極めて大きいため、ＳｉＣをエッチングする際に、SiO_2により形成されている熱エッチングマスク６５は、殆どエッチングされることはない。

[0046] このように熱エッチングにより形成される傾斜面２３の結晶面は、｛０３－３－８｝面となっている。つまり、上述した条件のエッチングにおいては、エッチング速度の最も遅い結晶面である｛０３－３－８｝面が、凹部２１と凸部２２との間の傾斜面２３として自己形成される。本実施形態においては、ｎドリフト領域３０とｐボディ領域３３との間の単結晶炭化珪素基板１０の一方の主面１０ａに対し垂直な境界３３ａが、傾斜面２３に位置するように形成する。尚、傾斜面２３は、｛０３－３－８｝面以外の｛０１－１－２｝面や｛０１－１－４｝面等により形成されていてもよい。

[0047] 次に、図１０に示すように、熱エッチングマスク６５を除去した後、凹部２１の底面２１ａ、凸部２２の上面２２ａ、傾斜面２３の表面にゲート絶縁膜４１を形成する。ゲート絶縁膜４１は、凹部２１の底面２１ａ、凸部２２の上面２２ａ、傾斜面２３を形成している炭化珪素の表面を熱酸化することにより形成する。

[0048] 次に、図１１に示すように、ゲート絶縁膜４１の上に、導電体膜４２ａを成膜し、図１２に示すように、この導電体膜４２ａを加工することにより、ゲート電極４２を形成する。具体的には、図１１に示すように、ゲート絶縁膜４１の上に、金属膜等をスパッタリングにより成膜することにより導電体膜４２ａを形成し、この後、導電体膜４２ａの上に、フォトレジストを塗布し、露光装置による露光、現像を行う。これにより、導電体膜４２ａのゲート電極４２が形成される領域の上に、不図示のレジストパターンを形成する。この後、レジストパターンの形成されていない領域の導電体膜４２ａをエッチングにより除去する。これにより、図１２に示すように、ゲート絶縁膜

４１を介した凸部２２の上面２２ａ、傾斜面２３、傾斜面２３近傍の凹部２１の底面２１ａの上にゲート電極４２を形成する。この後、不図示のレジストパターンは除去される。

[0049] 次に、図１３に示すように、ゲート絶縁膜４１及びゲート電極４２の上に、層間絶縁膜４３を形成する。層間絶縁膜４３は、絶縁性を有するシリコン酸化膜等を用いることができる。

[0050] 次に、図１４に示すように、ゲート絶縁膜４１及び層間絶縁膜４３の一部を除去することにより、コンタクトホール４３ａを形成し、凹部２１の底面２１ａにおけるｐ$^+$コンタクト領域３１及びｎ$^+$コンタクト領域３２の一部を露出させる。具体的には、層間絶縁膜４３の上に、フォトレジストを塗布し、露光装置による露光、現像を行うことにより、層間絶縁膜４３の上に、コンタクトホール４３ａが形成される領域に開口を有する不図示のレジストパターンを形成する。この後、ＲＩＥ等のドライエッチングにより、レジストパターンが形成されていない領域におけるゲート絶縁膜４１及び層間絶縁膜４３をＲＩＥ等のドライエッチングにより除去することによりコンタクトホール４３ａを形成する。このように、コンタクトホール４３ａを形成することにより、凹部２１の底面２１ａにおいて、ｐ$^+$コンタクト領域３１及びｎ$^+$コンタクト領域３２の一部が露出する。

[0051] 次に、図１５に示すように、層間絶縁膜４３、ｐ$^+$コンタクト領域３１及びｎ$^+$コンタクト領域３２の上に、導電体膜、例えば金属膜等によりソース電極４４を形成する。これにより、コンタクトホール４３ａが形成されている凹部２１の底面２１ａのｐ$^+$コンタクト領域３１及びｎ$^+$コンタクト領域３２と接触するソース電極４４が形成される。

[0052] 次に、図１６に示すように、単結晶炭化珪素基板１０の他方の主面１０ｂに、導電体膜、例えば金属膜等によりドレイン電極４５を形成する。これにより、本実施形態における半導体装置を作製することができる。

[0053] （変形例１）

また、本実施形態における半導体装置の製造方法は、上記の図７に示す工

程の後、熱エッチングを行い、この後、ｐボディ領域３３を形成するためのイオン注入を行い、再度熱エッチングを行うものであってもよい。具体的には、図７に示す工程の後、イオン注入マスク６３を除去し、図１７に示すように、熱エッチングマスク６５を形成し、熱エッチングを行う。これにより、凹部２１と凸部２２の間に、傾斜面２３を形成する。

[0054] 次に、図１８に示すように、凹部２１の底面２１ａのｎ$^+$コンタクト領域３２よりも深い領域及び傾斜面２３に、ｐ型となる不純物元素をイオン注入することにより、ｐボディ領域３３を形成する。これにより、熱エッチングマスク６５と傾斜面２３との間のｎドリフト領域３０とｐボディ領域３３との境界３３ａが、単結晶炭化珪素基板１０の一方の主面１０ａに対し垂直に形成される。

[0055] 次に、図１９に示すように、再度熱エッチングを行う。これにより、熱エッチングマスク６５の端の下側の部分においても、傾斜面２３における半導体の一部が除去され、ｎドリフト領域３０とｐボディ領域３３との境界は、傾斜面２３に位置するように形成される。これにより、凹部２１と凸部２２の間に、｛０３－３－８｝面となる傾斜面２３を形成することができる。

[0056] この後、上記の図１０に示す工程以降の工程を行うことにより、図２０に示す構造の半導体装置を製造することができる。この半導体装置では、傾斜面２３の下において、ｐボディ領域３３とｎドリフト領域３０との境界が、階段状ではなく、傾斜した形状で形成されるため、電界集中を更に緩和させることができ、信頼性を向上させることができる。

[0057] （変形例２）

また、本実施形態における半導体装置は、図２１に示すように、ｐ$^+$コンタクト領域３１及びｐボディ領域３３も深い位置に、ｐ領域３４を形成した構造のものであってもよい。ｐ領域３４とｐ$^+$コンタクト領域３１及びｐボディ領域３３とは、ｐ$^+$コンタクト領域３１及びｐボディ領域３３の最も深い位置で接している。この半導体装置においては、ｐ型となる不純物元素の濃度は、ｐ$^+$コンタクト領域３１＜ｐ領域３４＜ｐボディ領域３３であることが好ま

しい。このようなｐ領域３４を形成することにより、本実施形態において、トランジスタとともに形成される内蔵ダイオード（ボディダイオード）の順方向における抵抗を低くすることができる。尚、ｐ領域３４は、ｐ型となる不純物元素をイオン注入することにより形成してもよく、単結晶炭化珪素基板１０の一方の主面１０ａの上に、炭化珪素エピタキシャル層２０を形成する際に、エピタキシャル成長の途中で、ｐ領域３４を形成してもよい。

[0058] 本開示によれば、チャネル移動度が高く、オン抵抗の低い炭化珪素を用いた半導体装置を提供できる。

[0059] 今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって、制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味、および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

[0060]

１０	単結晶炭化珪素基板
１０ａ	一方の主面
１０ｂ	他方の主面
２０	炭化珪素エピタキシャル層
２０ａ	表面
２１	凹部
２１ａ	底面
２２	凸部
２２ａ	上面
２３	傾斜面
２３ｂ	傾斜面と凸部との境界
３０	ｎドリフト領域
３１	p^+コンタクト領域
３２	n^+コンタクト領域
３３	ｐボディ領域

３３ａ　境界

４１　ゲート絶縁膜

４２　ゲート電極

４３　層間絶縁膜

４４　ソース電極

４５　ドレイン電極

請求の範囲

[請求項1] 単結晶炭化珪素基板と、

前記単結晶炭化珪素基板の一方の主面に形成された炭化珪素エピタキシャル層と、

前記炭化珪素エピタキシャル層の表面に形成された凹部及び凸部と、前記凹部と前記凸部との間に形成された傾斜面と、

前記凹部の底面の前記傾斜面側に形成された第１の導電型の第１のコンタクト領域と、

前記凹部の底面において前記第１のコンタクト領域と接する第２の導電型の第２のコンタクト領域と、

前記凸部の上面に形成された第１の導電型のドリフト領域と、

前記第１のコンタクト領域と前記ドリフト領域の間の前記傾斜面に形成された第２の導電型のボディ領域と、

前記傾斜面を覆うゲート絶縁膜と、

前記ゲート絶縁膜の上に形成されたゲート電極と、

前記第１のコンタクト領域及び前記第２のコンタクト領域の上に形成されたソース電極と、

前記単結晶炭化珪素基板の他方の主面に形成されたドレイン電極と、

を有し、

前記単結晶炭化珪素基板の一方の主面に対し、前記傾斜面の角度は、４０°以上７０°以下である半導体装置。

[請求項2] 前記ドリフト領域と前記ボディ領域との境界は前記傾斜面に位置しており、

前記境界は、前記単結晶炭化珪素基板の一方の主面に対し垂直である請求項１に記載の半導体装置。

[請求項3] 前記ボディ領域における不純物濃度は、$１\times１０^{17}ｃｍ^{-3}$以上$３\times１０^{19}ｃｍ^{-3}$以下である請求項１または２に記載の半導体装置。

[請求項4] 前記炭化珪素エピタキシャル層における前記第２のコンタクト領域及び前記ボディ領域よりも深い位置には、前記ボディ領域よりも不純物濃度の高い第２の導電型の半導体領域が、前記第２のコンタクト領域及び前記ボディ領域と接して形成されている請求項１から３のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項5] 前記凹部の平面形状は、六角形である請求項１から４のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項6] 前記単結晶炭化珪素基板は４Ｈ型の結晶構造を有し、

前記炭化珪素エピタキシャル層は４Ｈ型の結晶構造を有する請求項１から５のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項7] ４Ｈ型の結晶構造を有する単結晶炭化珪素基板と、

４Ｈ型の結晶構造を有し、前記単結晶炭化珪素基板の一方の主面に形成された炭化珪素エピタキシャル層と、

前記炭化珪素エピタキシャル層の表面に形成された凹部及び凸部と、前記凹部と前記凸部との間に形成された傾斜面と、

前記凹部の底面の前記傾斜面側に形成された第１の導電型の第１のコンタクト領域と、

前記凹部の底面において前記第１のコンタクト領域と接する第２の導電型の第２のコンタクト領域と、

前記凸部の上面に形成された第１の導電型のドリフト領域と、

前記第１のコンタクト領域と前記ドリフト領域の間の前記傾斜面に形成された第２の導電型のボディ領域と、

前記傾斜面を覆うゲート絶縁膜と、

前記ゲート絶縁膜の上に形成されたゲート電極と、

前記第１のコンタクト領域及び前記第２のコンタクト領域の上に形成されたソース電極と、

前記単結晶炭化珪素基板の他方の主面に形成されたドレイン電極と、

を有し、

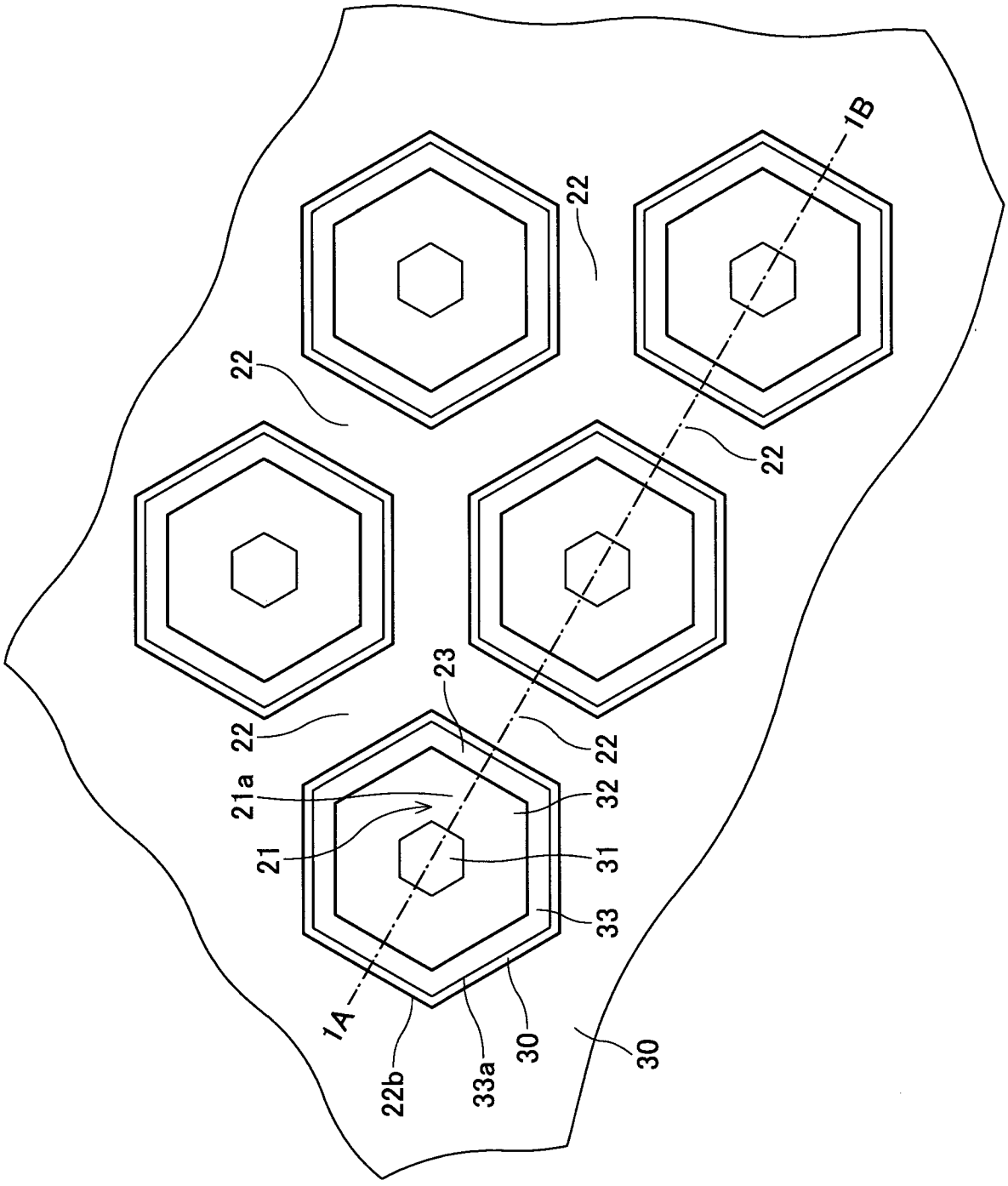
前記単結晶炭化珪素基板の一方の主面に対し、前記傾斜面の角度は、４０°以上７０°以下であり、

前記ドリフト領域と前記ボディ領域との境界は前記傾斜面に位置しており、

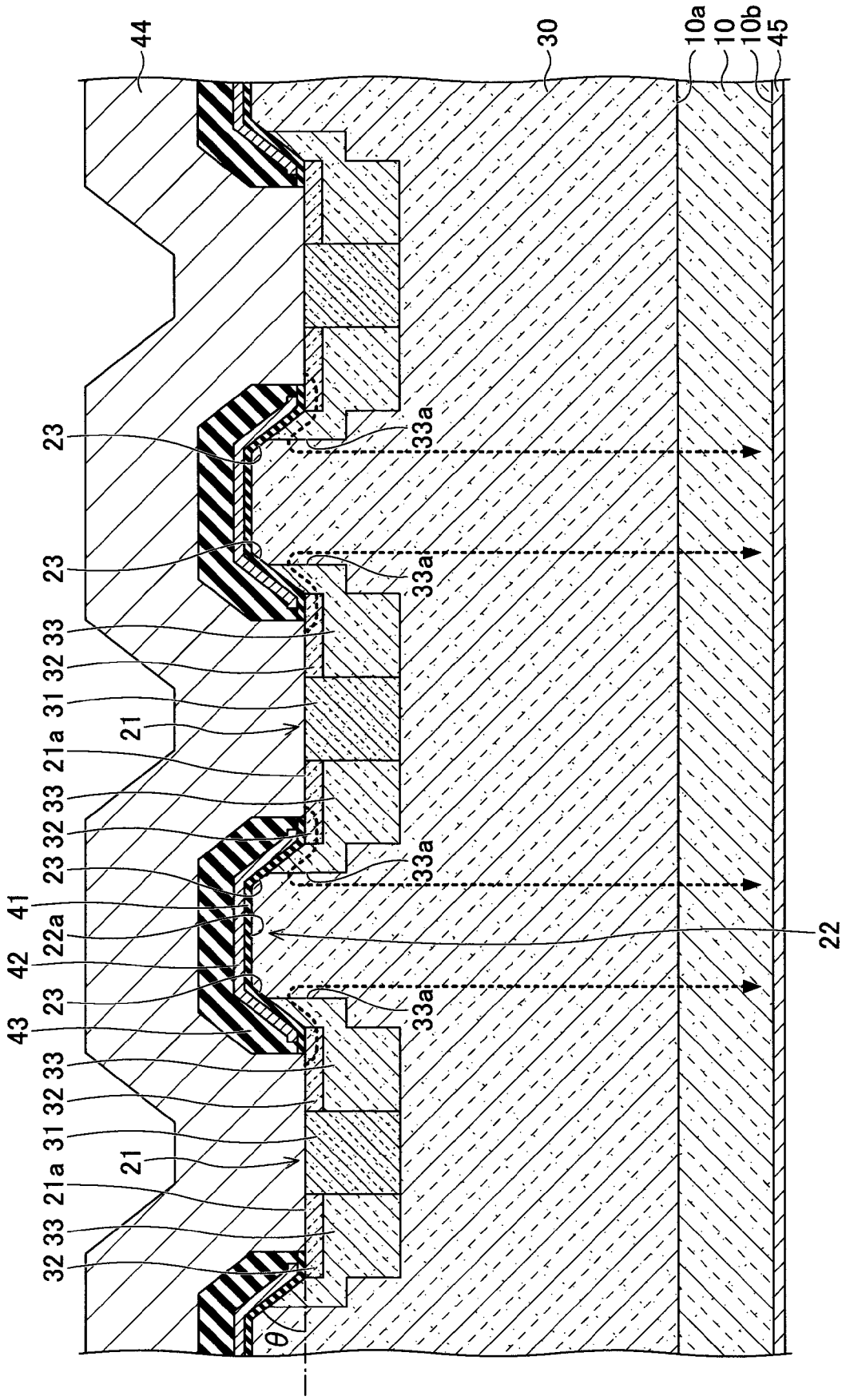
前記境界は、前記単結晶炭化珪素基板の一方の主面に対し垂直であり、

前記ボディ領域における不純物濃度は、$1\times10^{17}cm^{-3}$以上$3\times10^{19}cm^{-3}$以下である半導体装置。

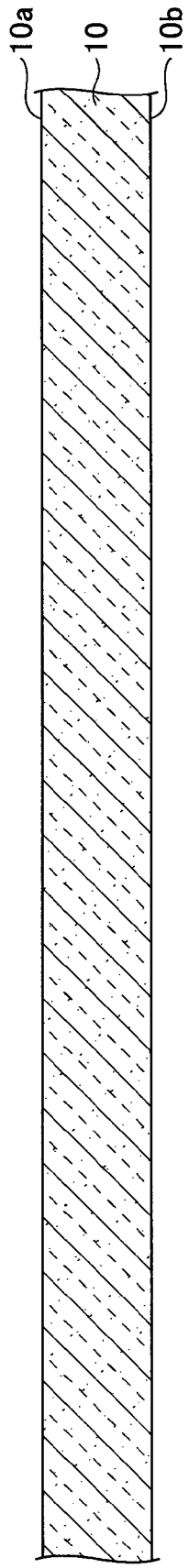
[図1]



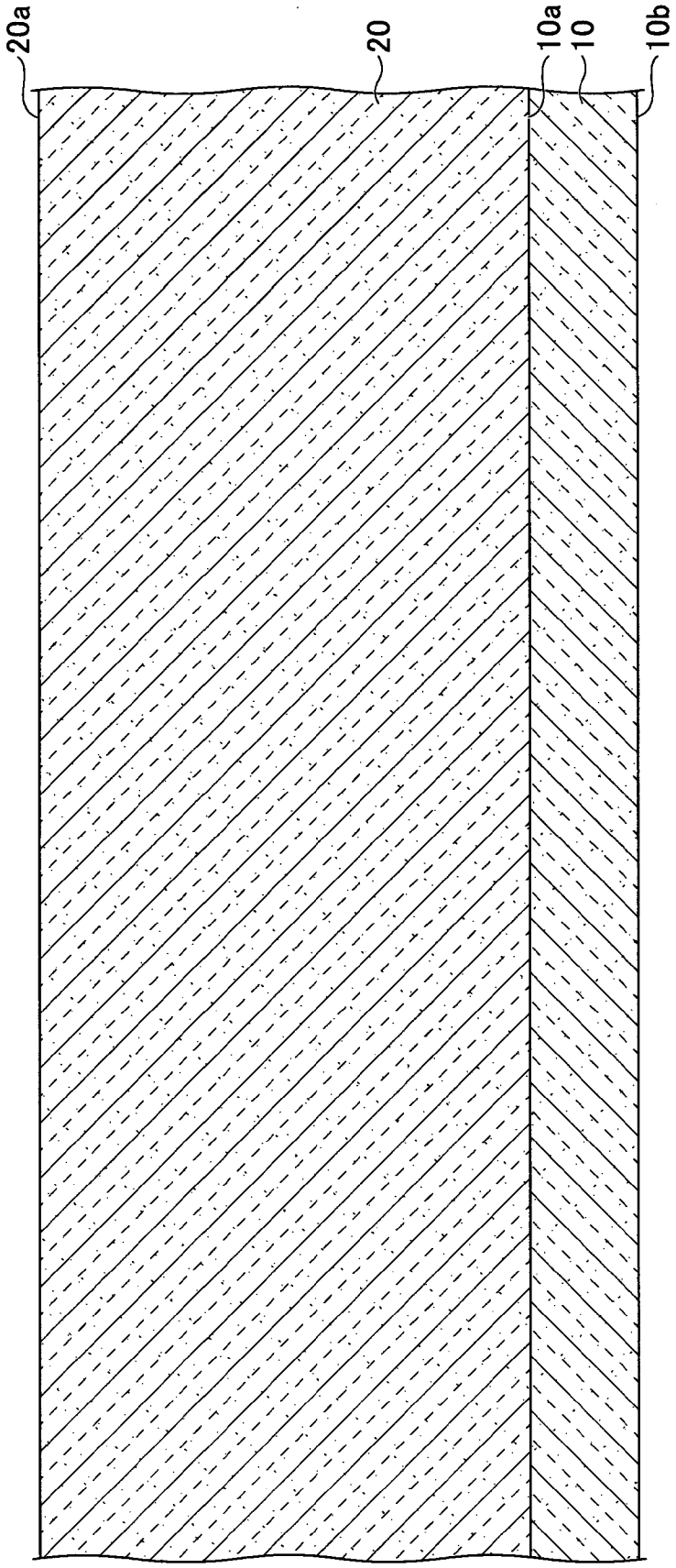
[図2]


44
30
10a
10
10b
45
23
33a
23
33a
33
32
31
21
21a
33
32
23
33a
41
22a
22
42
23
33a
43
33
32
31
21
21a
33
32
θ

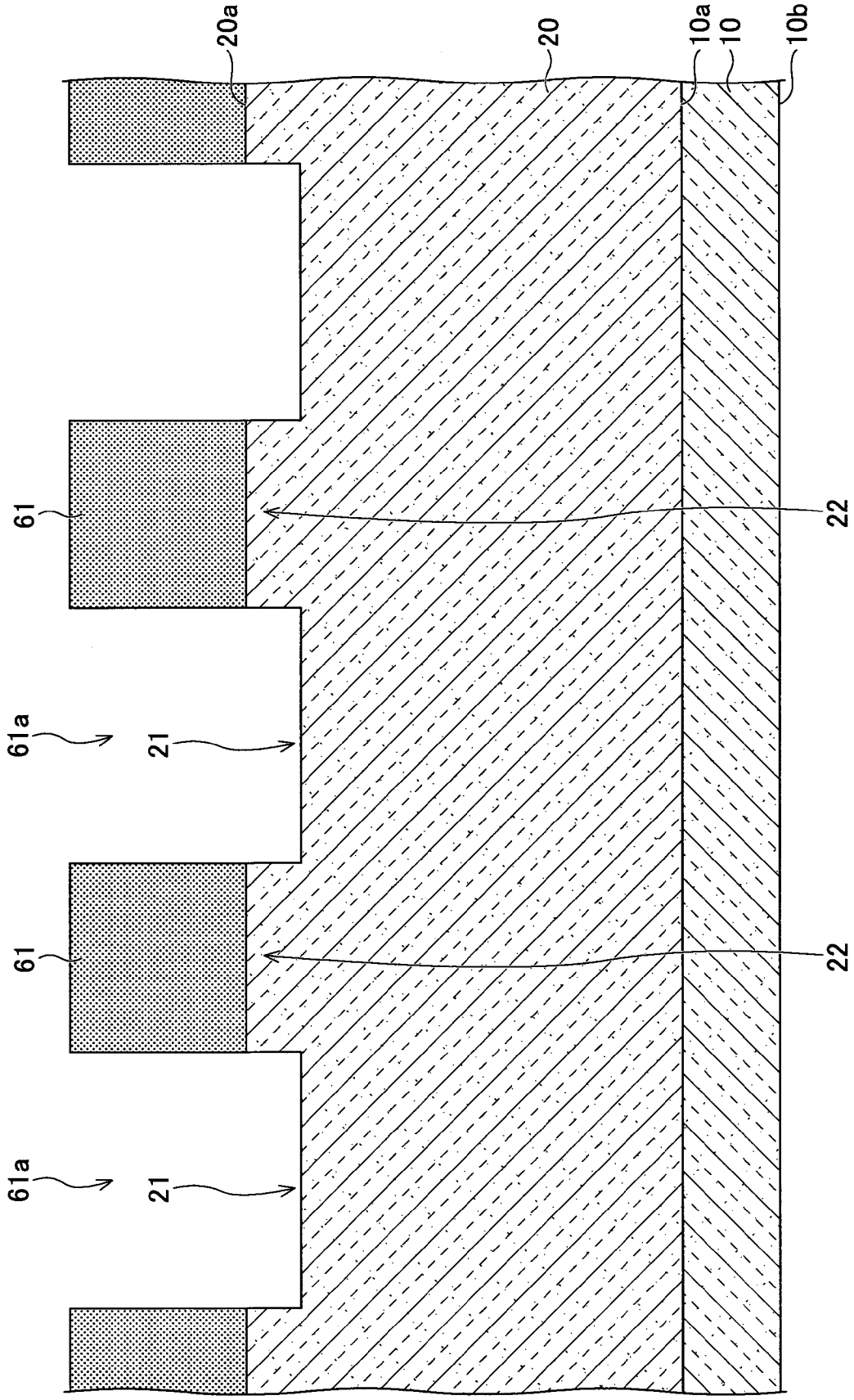
[図3]



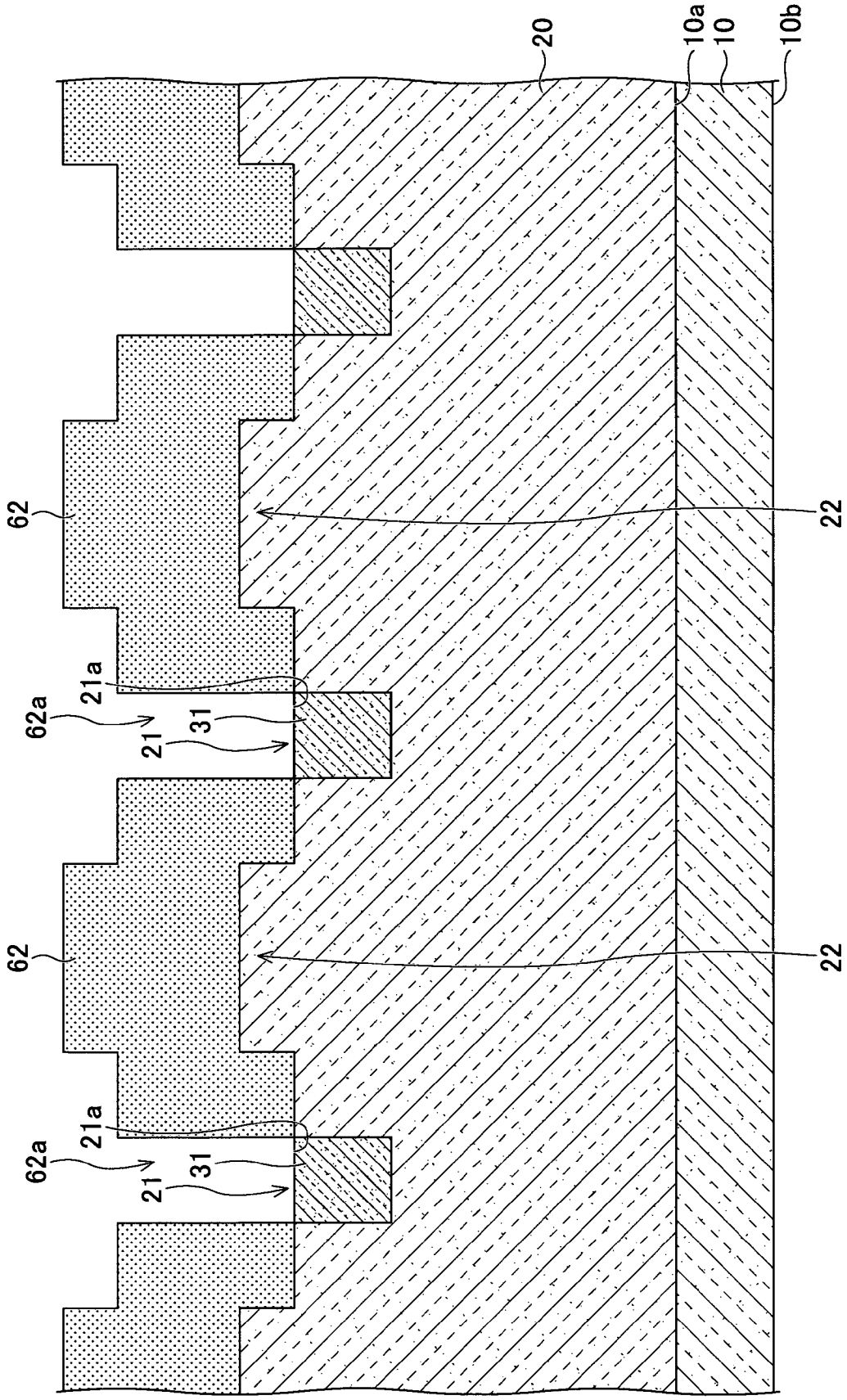
[図4]



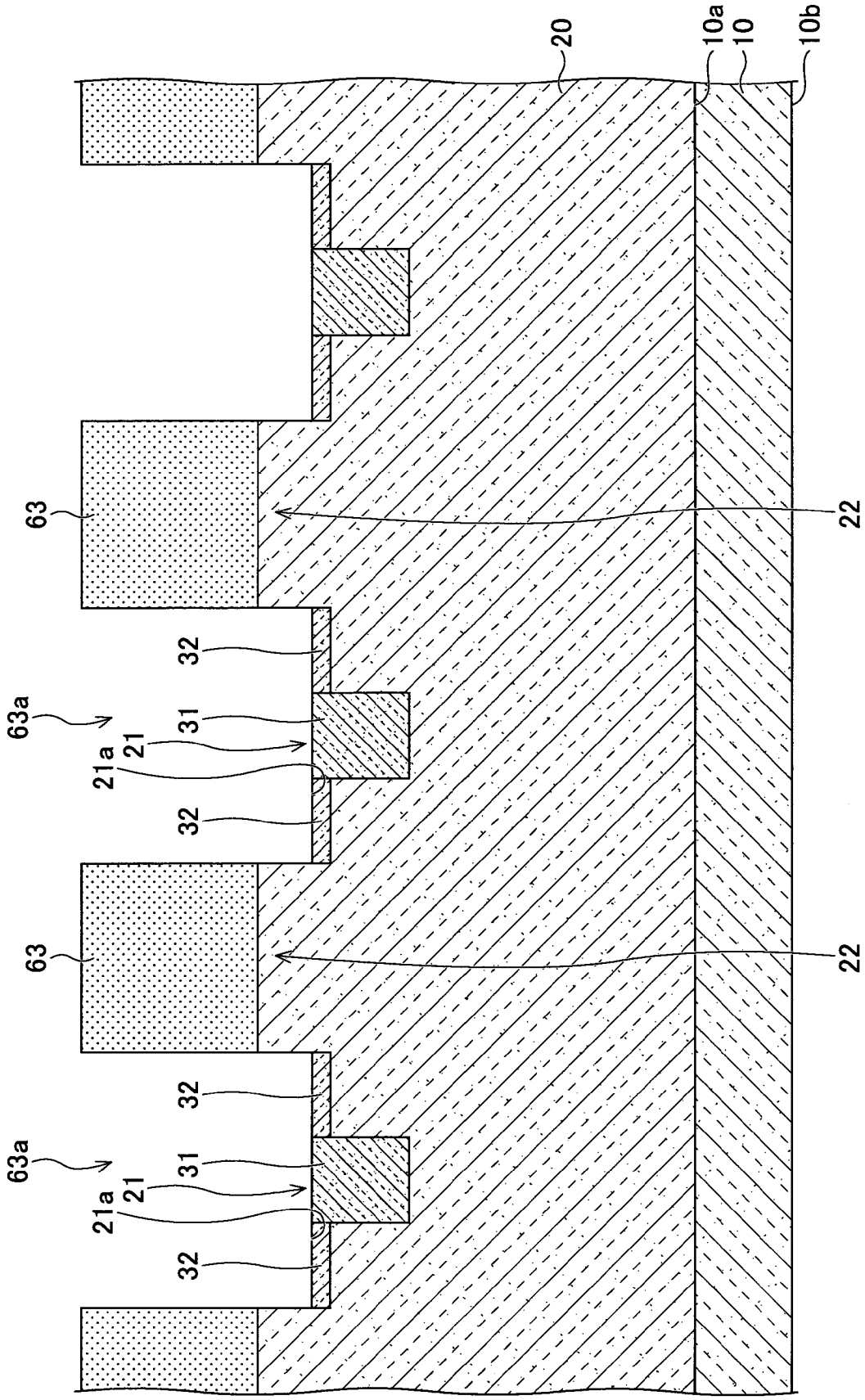
[図5]



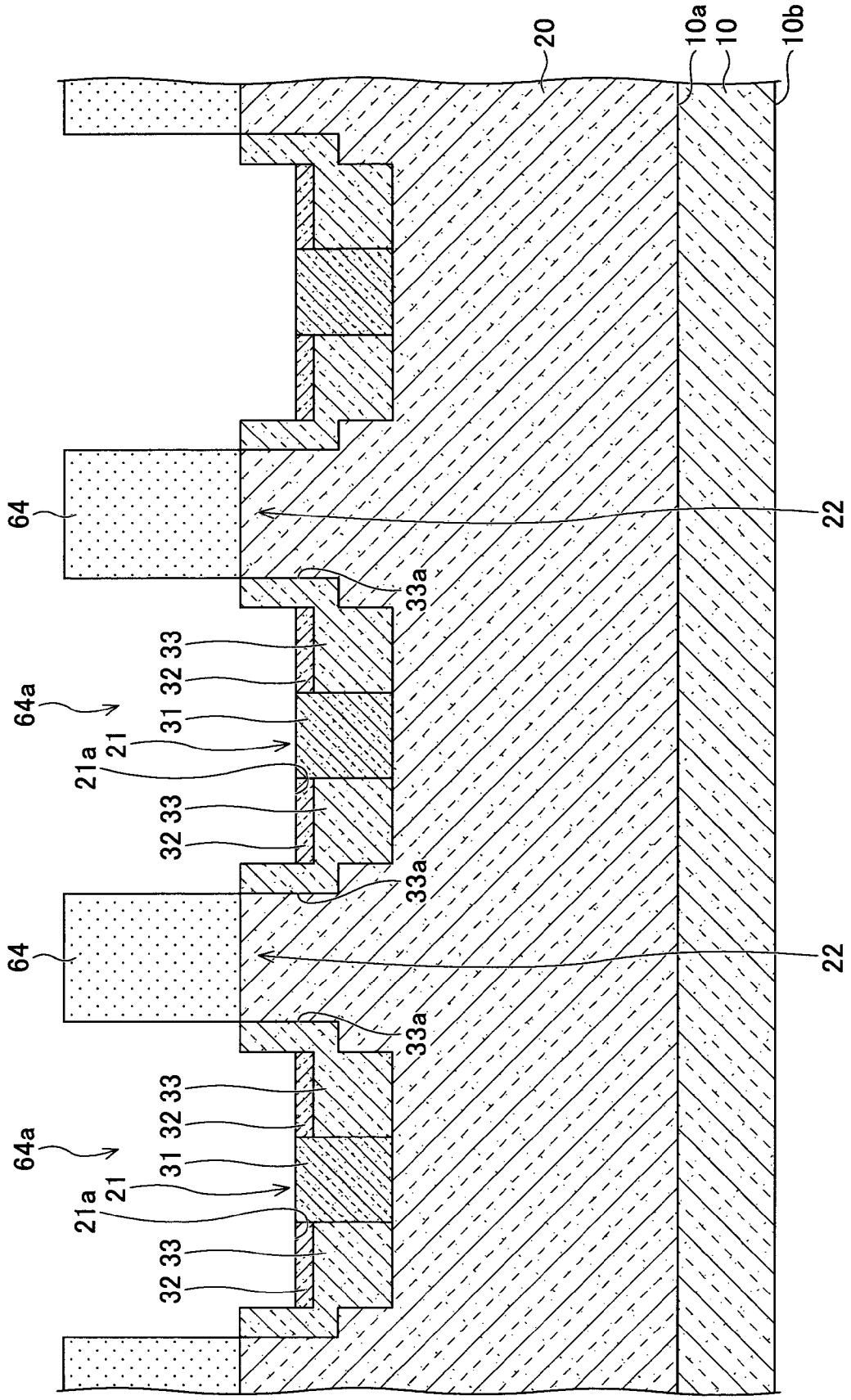
[図6]



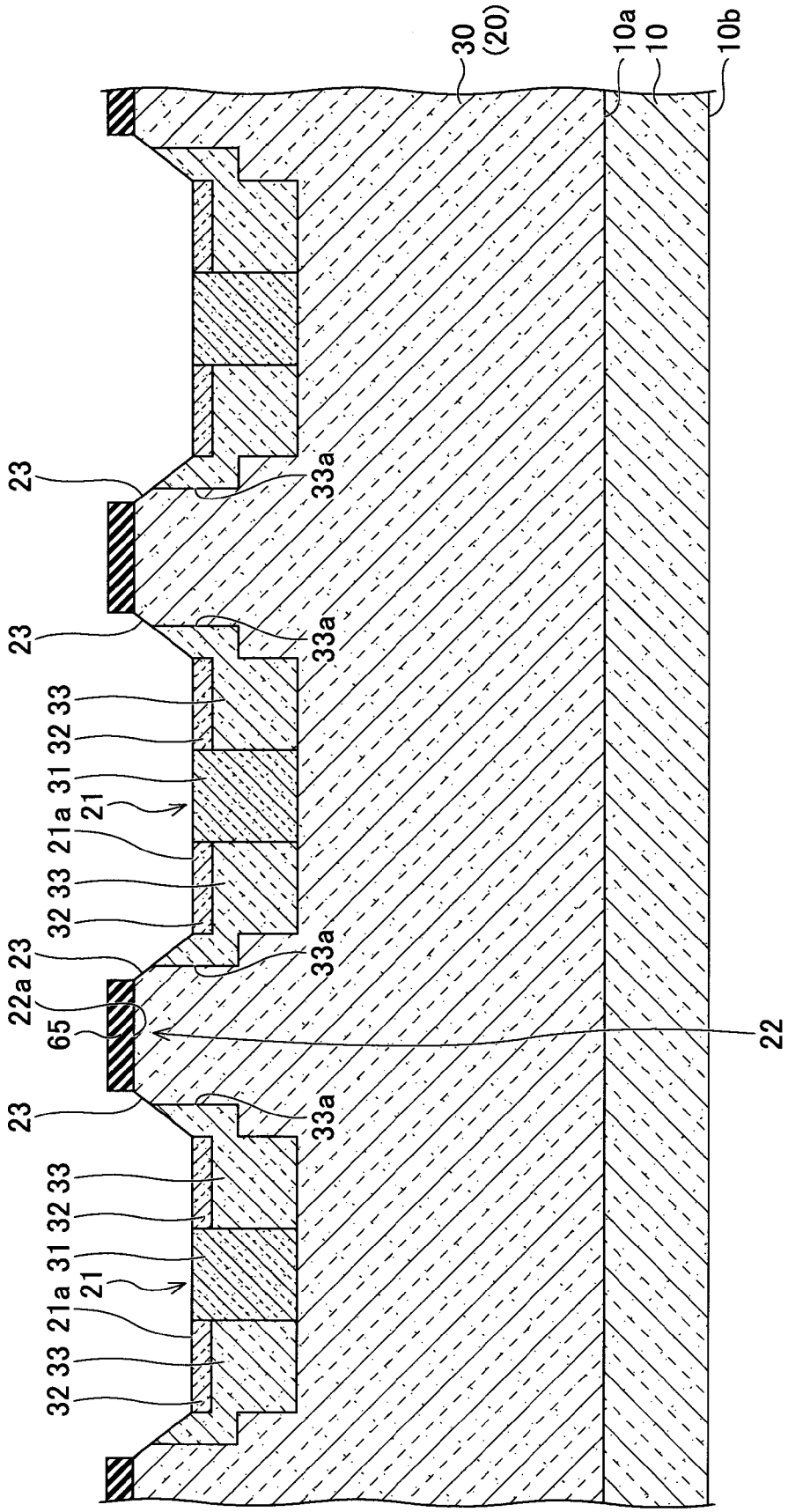
[図7]



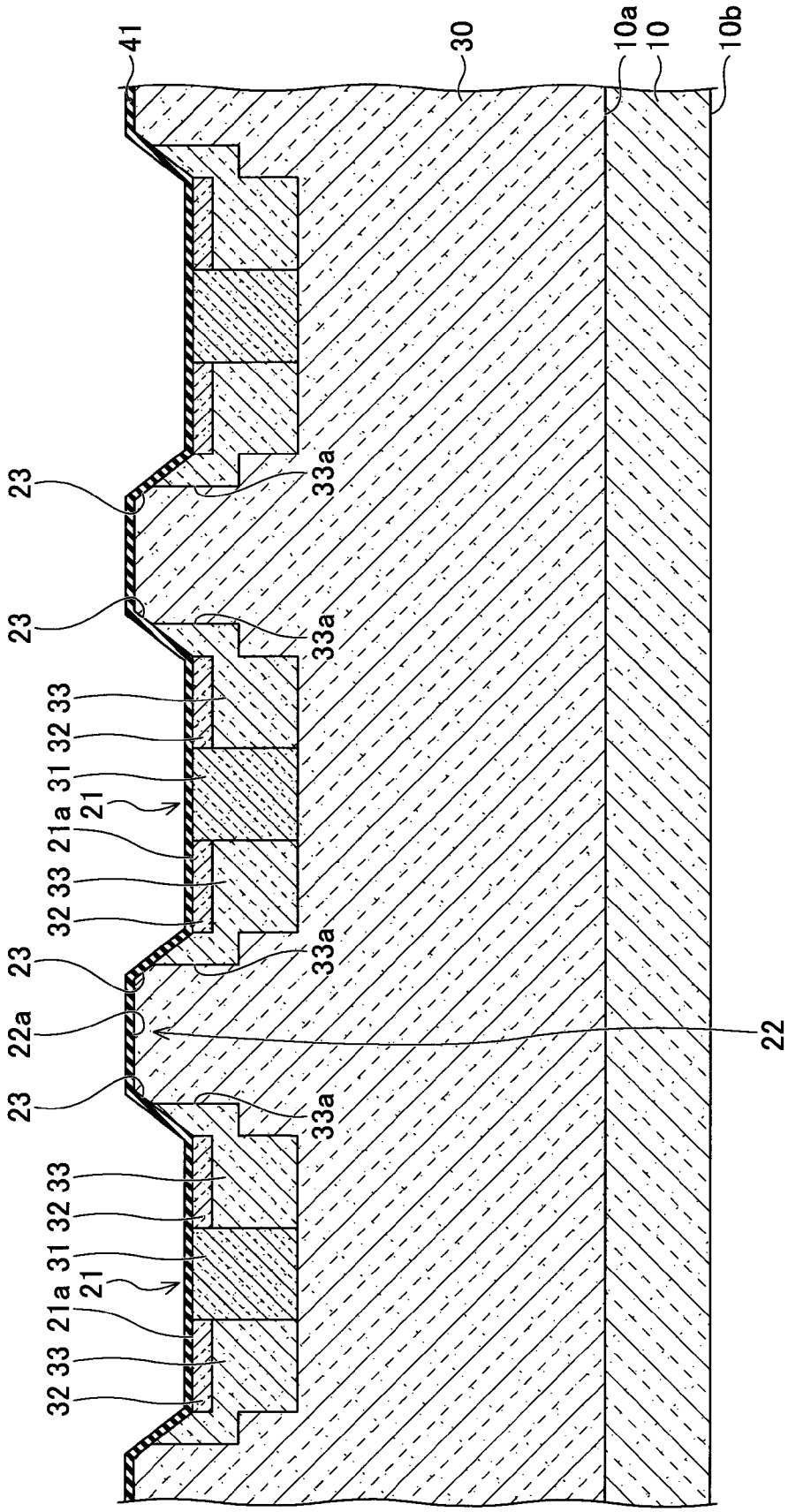
[図8]


20
10a
10
10b
64
22
33a
64a
31 32 33
21
21a
32 33
64
22
33a
33a
64a
31 32 33
21
21a
32 33

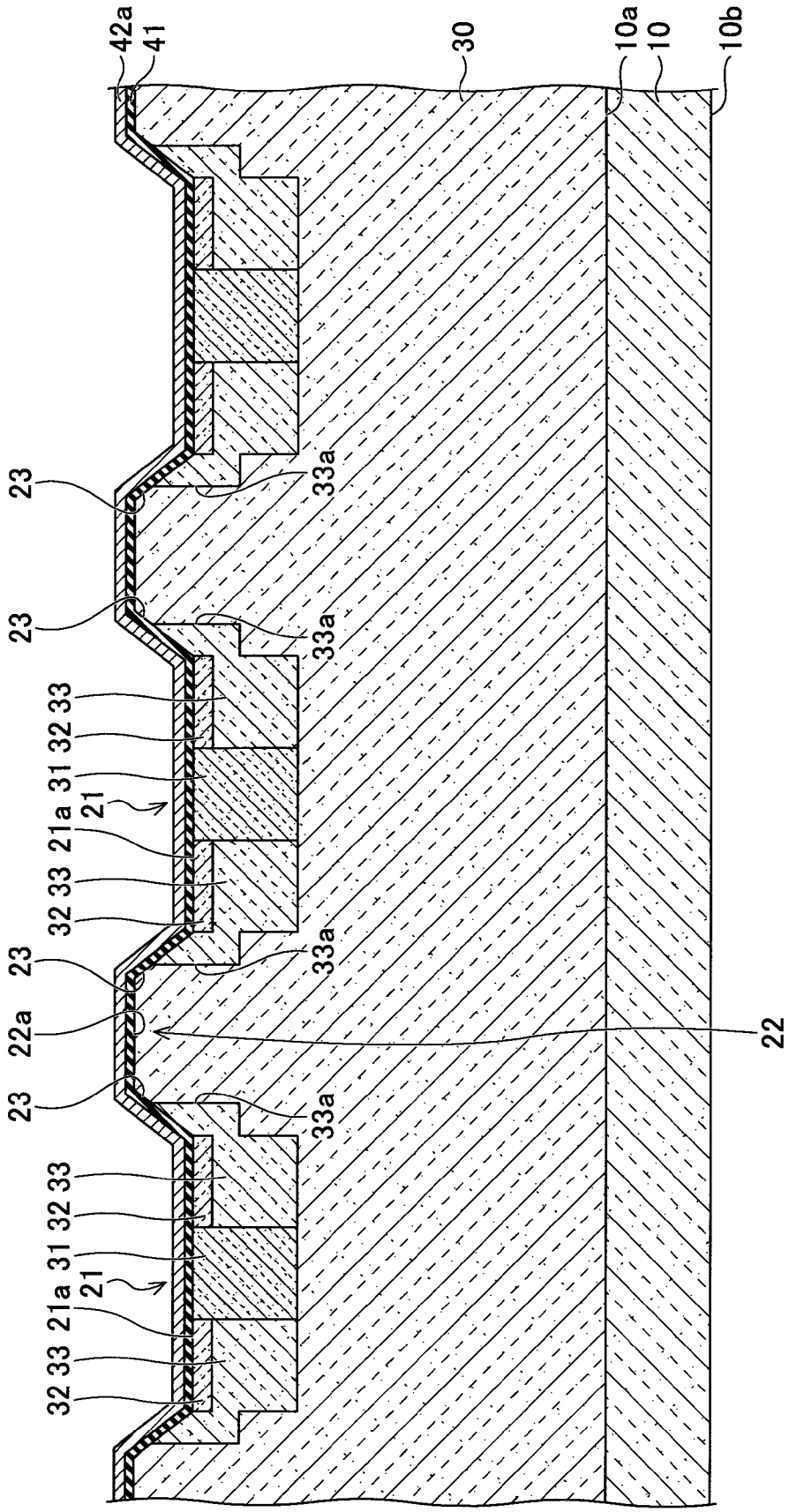
[図9]


30
(20)
10a
10
10b
23
33a
23
33a
32 33
31 32 33
21
21a 31
21
21a
32 33
32 33
23
33a
22a
65
22
23
33a
32 33
31 32 33
21
21a 31
21
21a
32 33

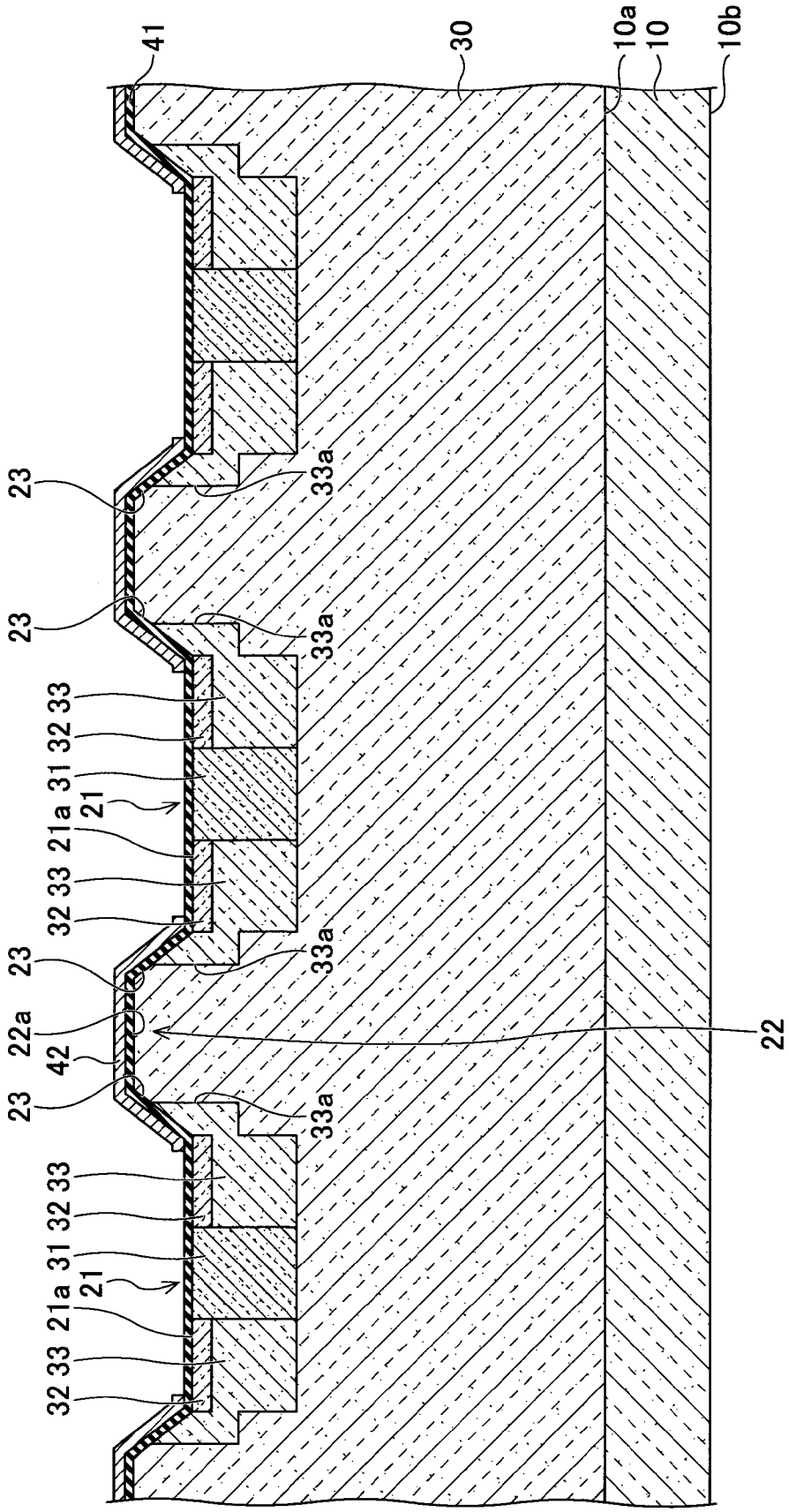
[図10]


41
30
10a
10
10b
23
33a
23
33a
32 33
31
32
21
21a
32 33
23
33a
22a
22
23
33a
32 33
31
32
21
21a
32 33

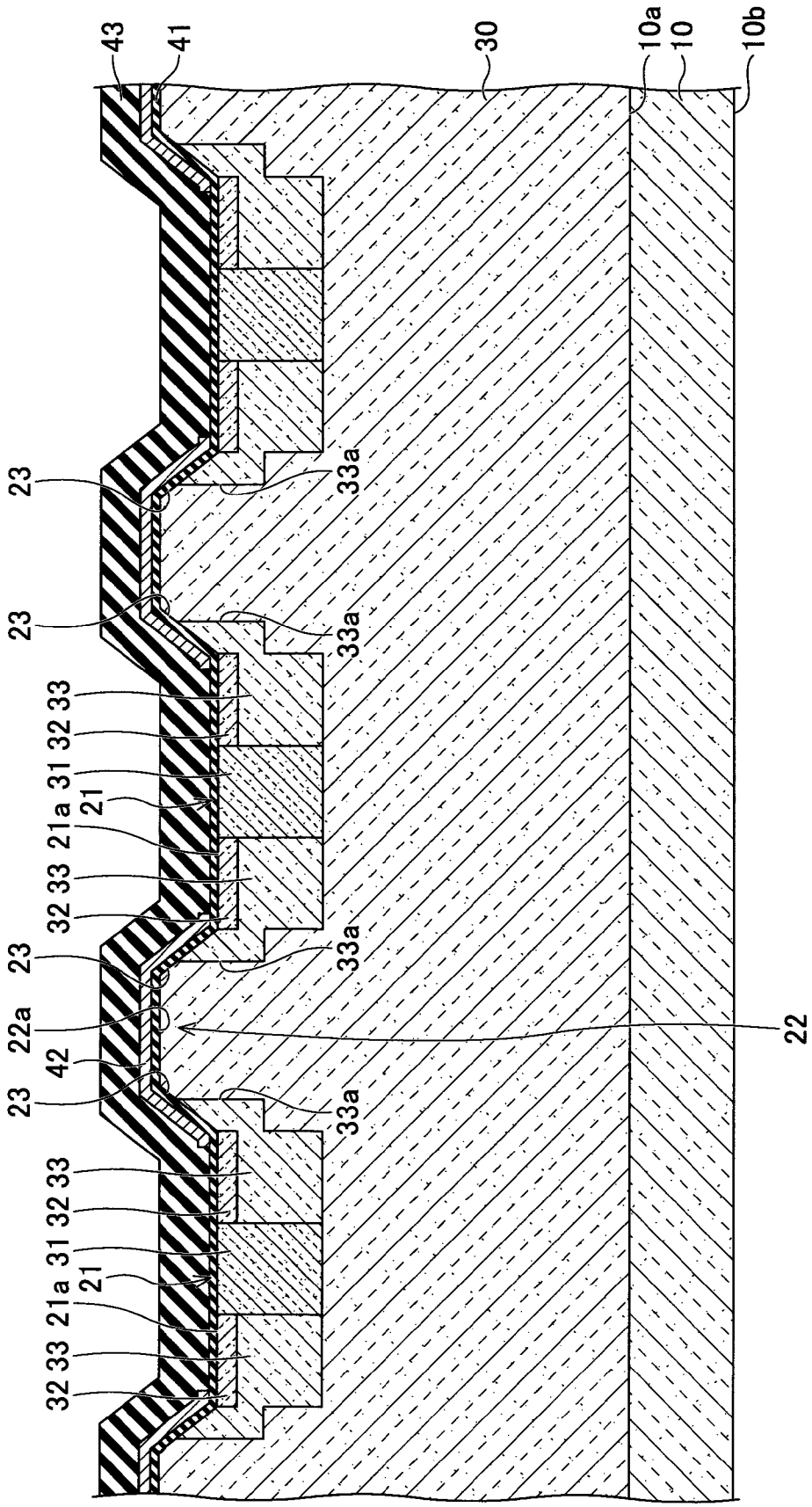
[図11]


42a
41
30
10a
10
10b
23
33a
23
33a
32 33
31
32
21
21a
32 33
23
33a
22a
22
23
33a
32 33
31
32
21
21a
32 33

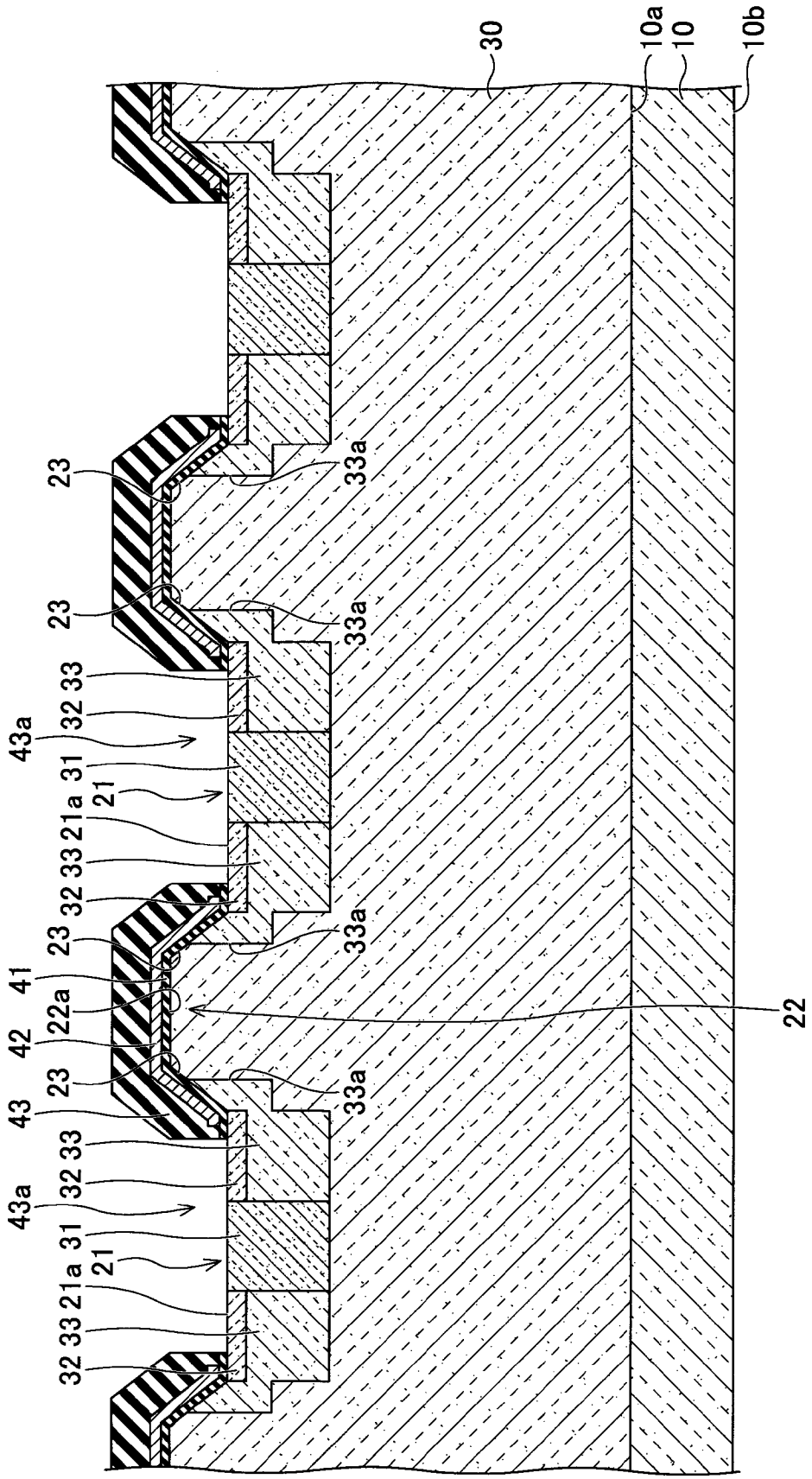
[図12]


41
30
10a
10
10b
23
33a
23
33a
32 33
32
31
21
21a
32 33
23
33a
22a
42
22
23
33a
32 33
32
31
21
21a
32 33

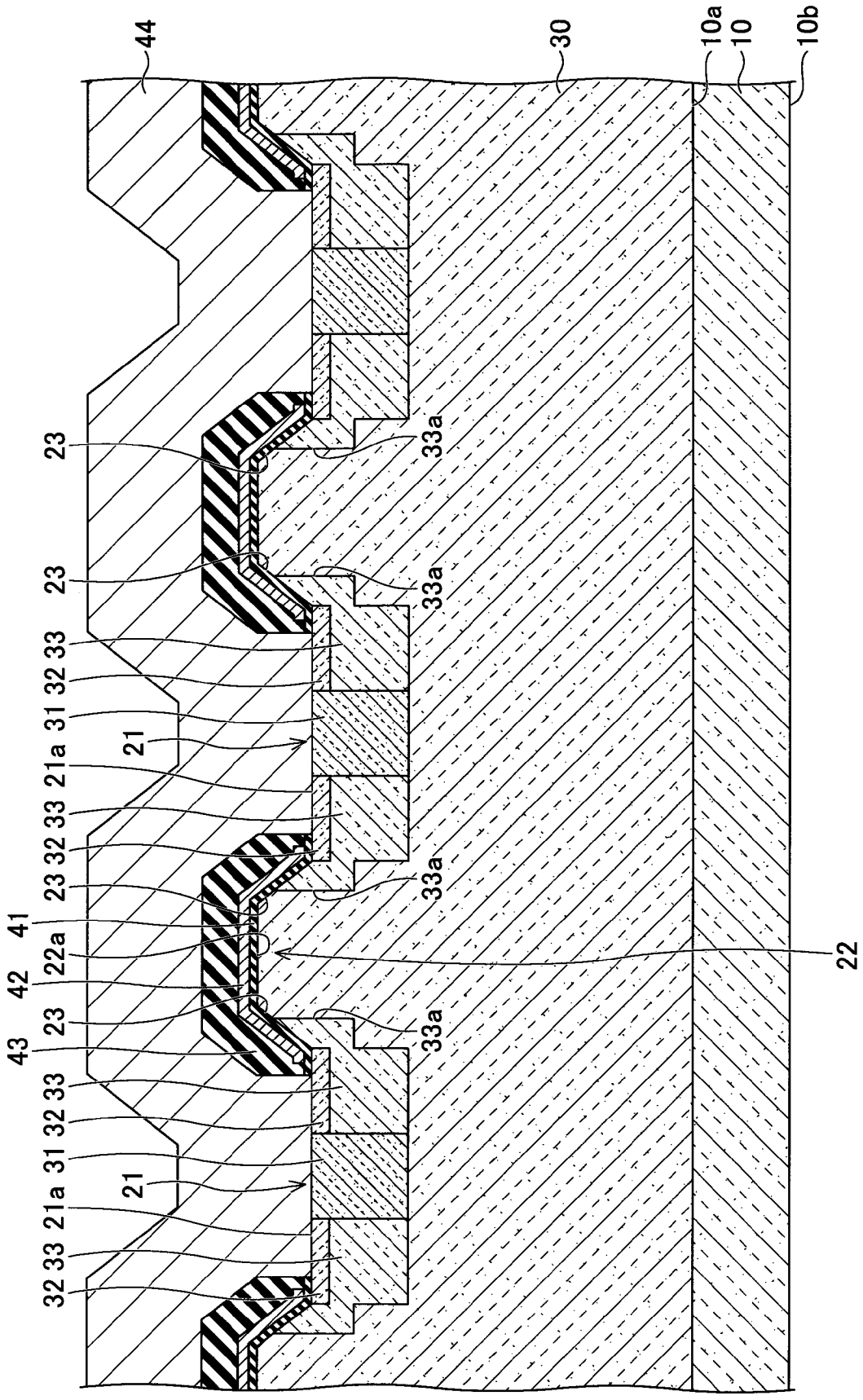
[図13]


43
41
30
10a
10
10b
23
33a
23
33a
32 33
31
32
21
21a
32 33
23
33a
22a
22
42
23
33a
32 33
31
32
21
21a
32 33

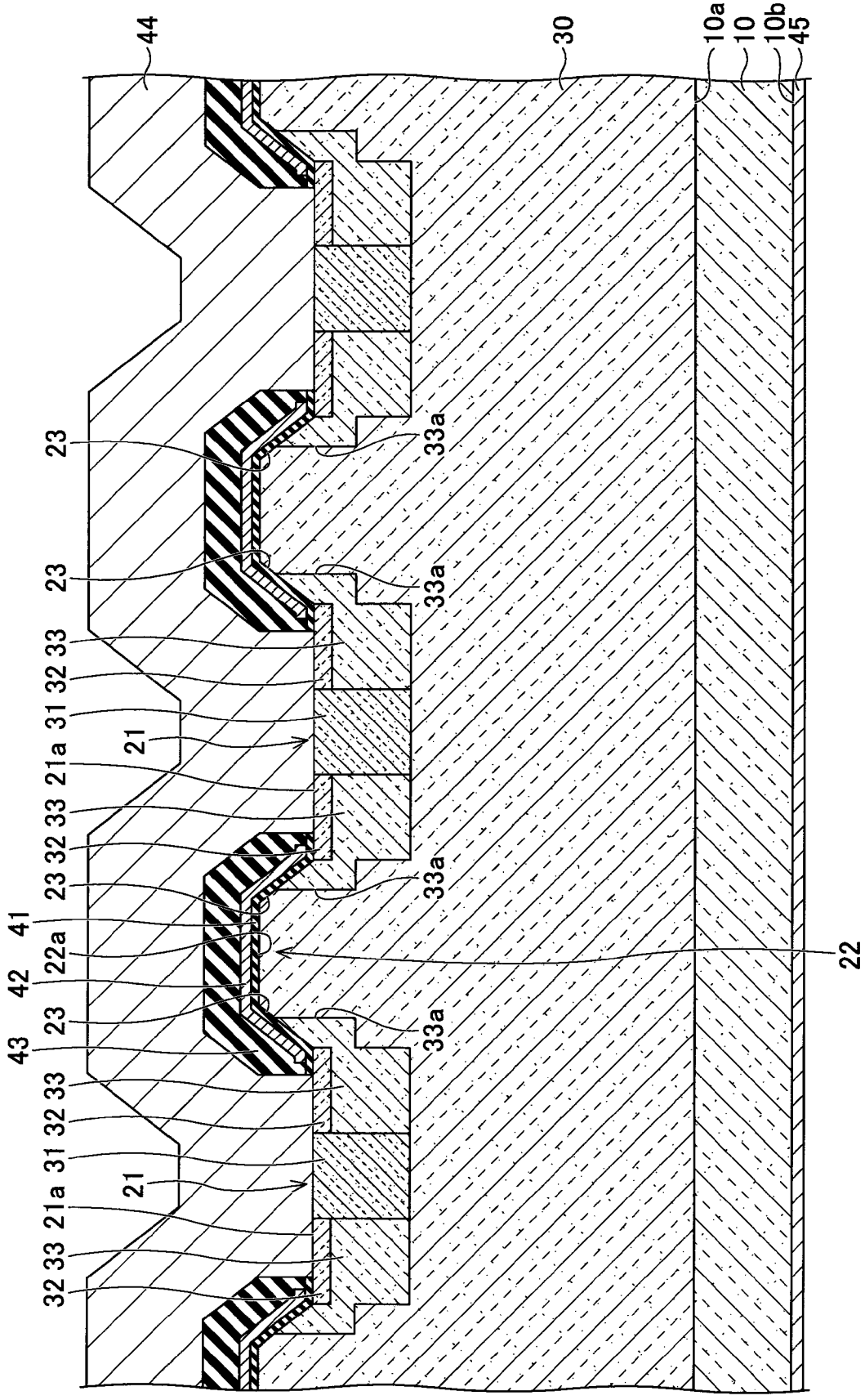
[図14]


30
10a
10
10b
23
33a
23
33a
32 33
32
43a
31
21
21a
32 33
32
23
33a
41
22a
22
42
23
33a
43
33
32
43a
31
21
21a
32 33
32

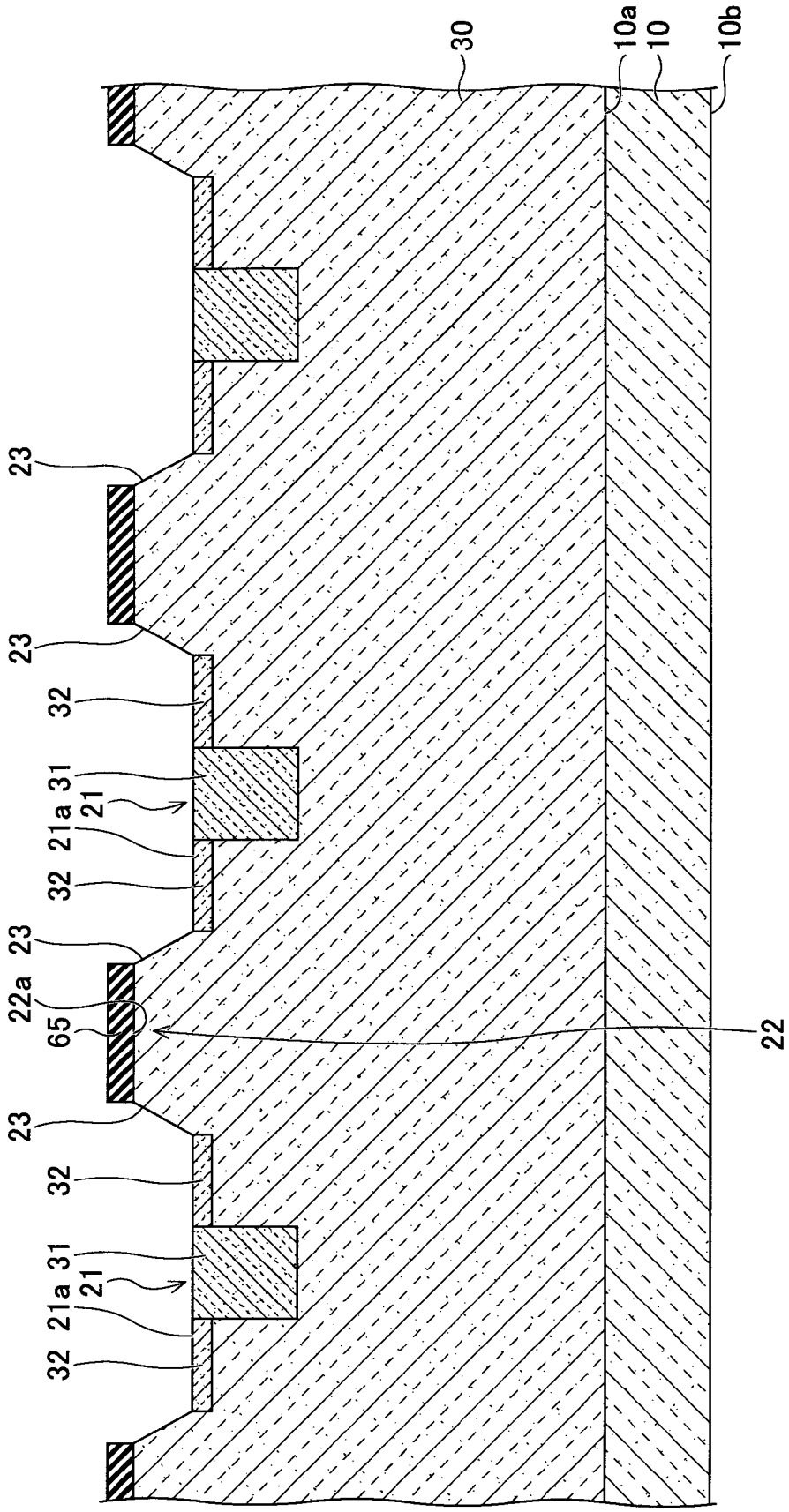
[図15]


44
30
10a
10
10b
23
33a
23
33a
33
32
31
21
21a
33
32
23
33a
41
22a
22
42
23
33a
43
33
32
31
21
21a
33
32

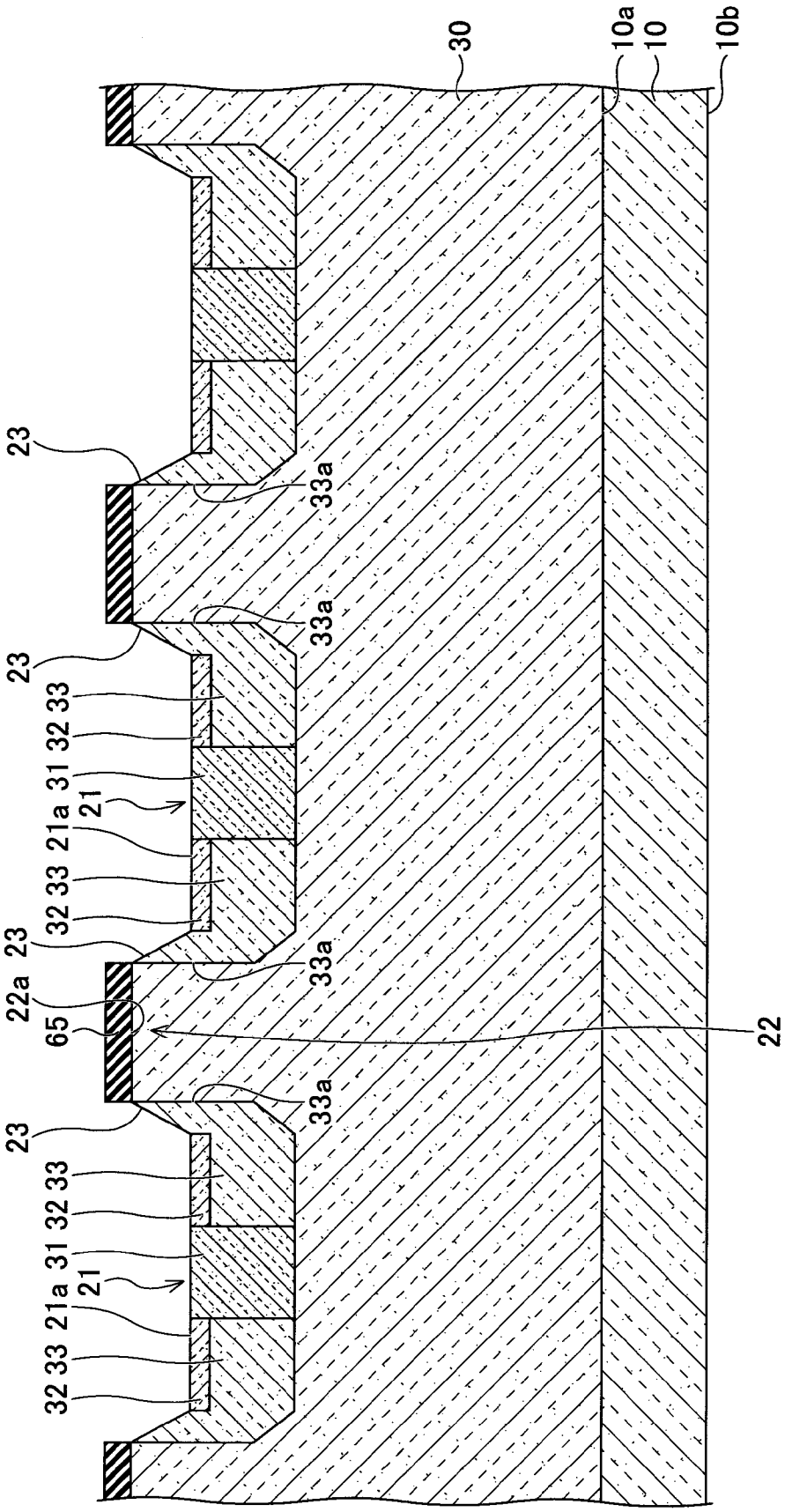
[図16]


44
30
10a
10
10b
45
23
33a
23
33a
32 33
31 32
21a 31
21
21a
32 33 23
33a
41
22a
22
42
23
33a
43
32 33
31 32
21a 31
21
32 33 21a

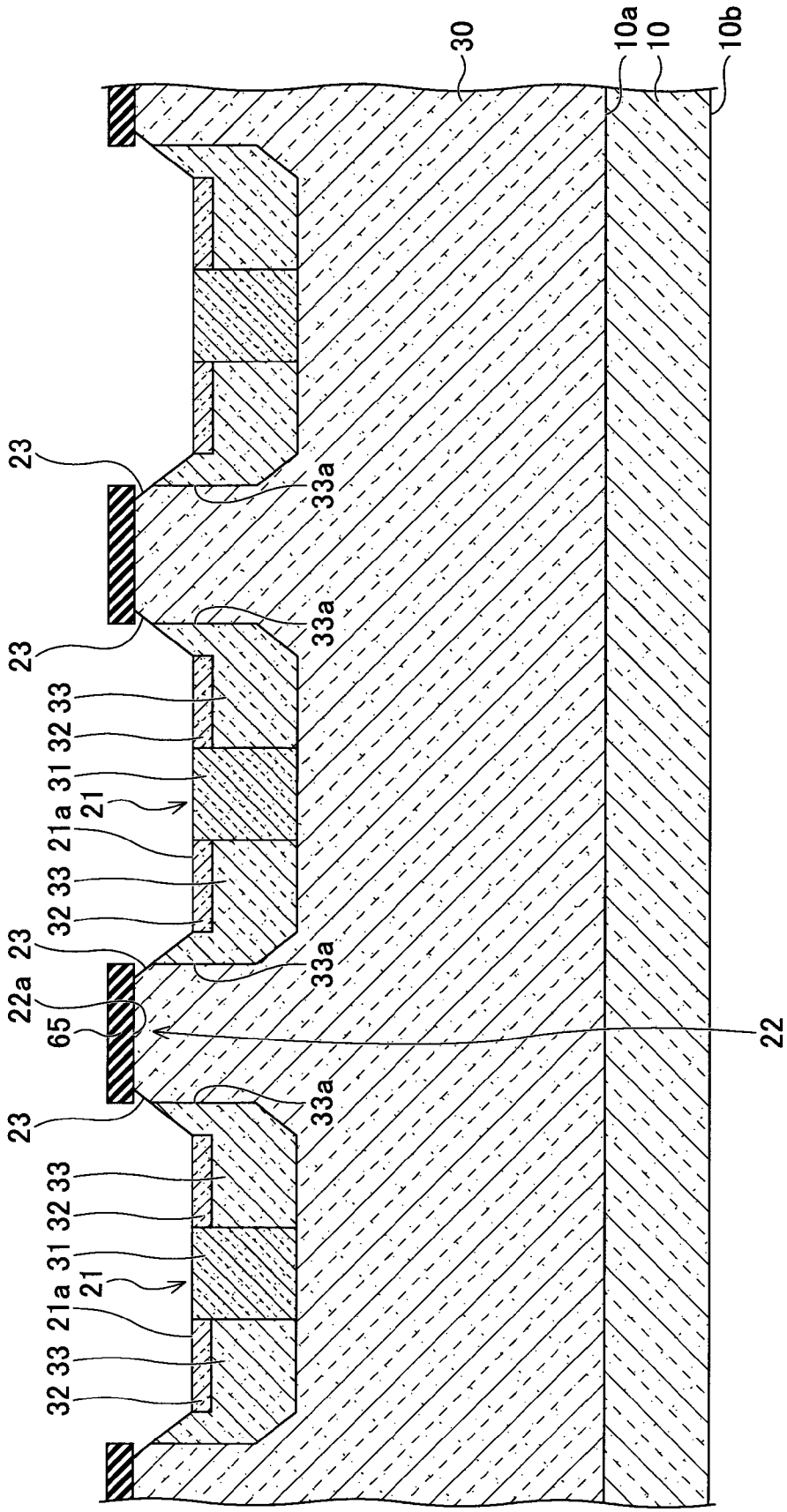
[図17]



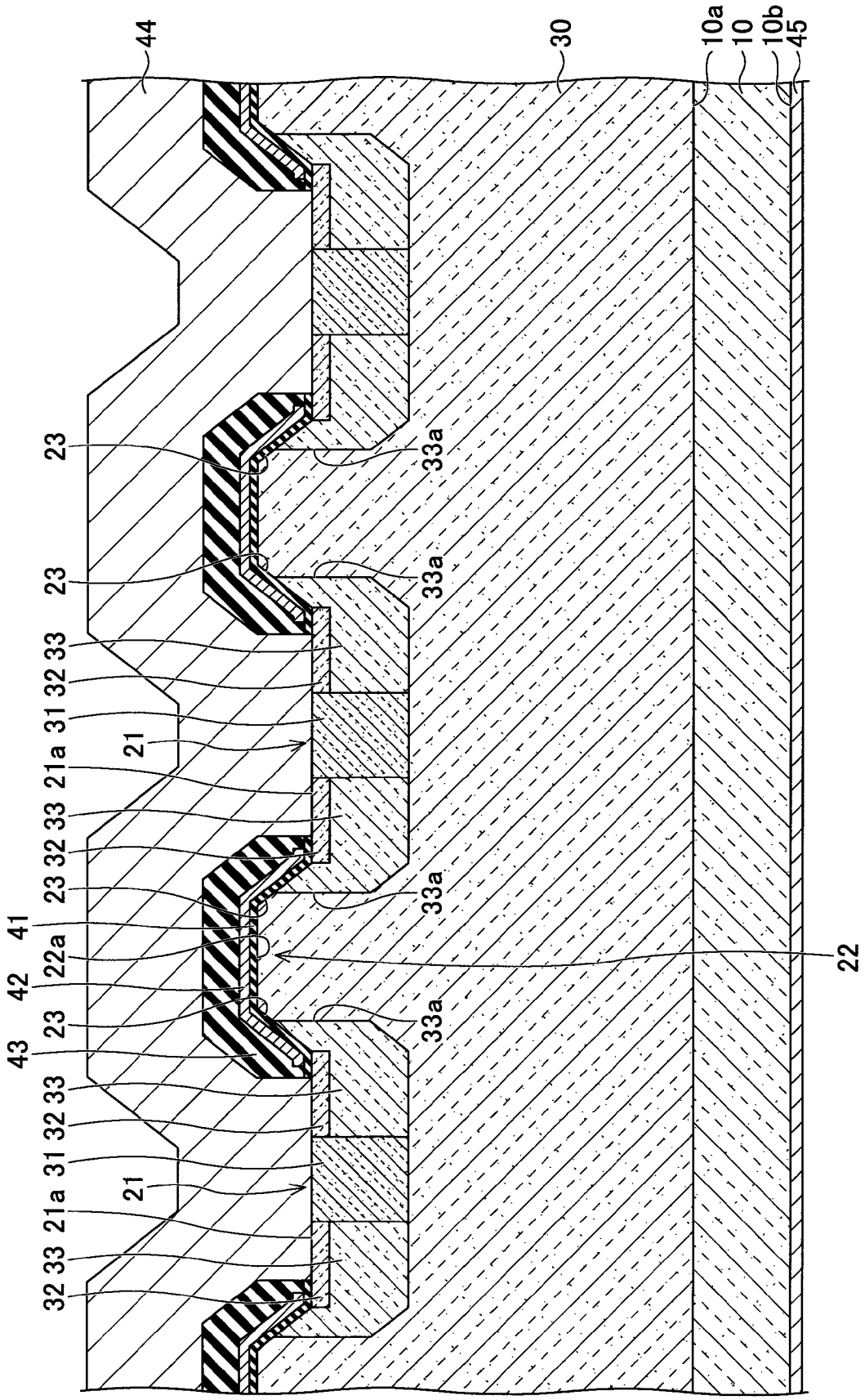
[図18]


30
10a
10
10b
23
33a
23
33a
23
32 33
31 32 33
21
21a 31
21
21a
32 33
23
33a
22a
65
22
23
33a
23
32 33
31 32 33
21
21a 31
21
32 33

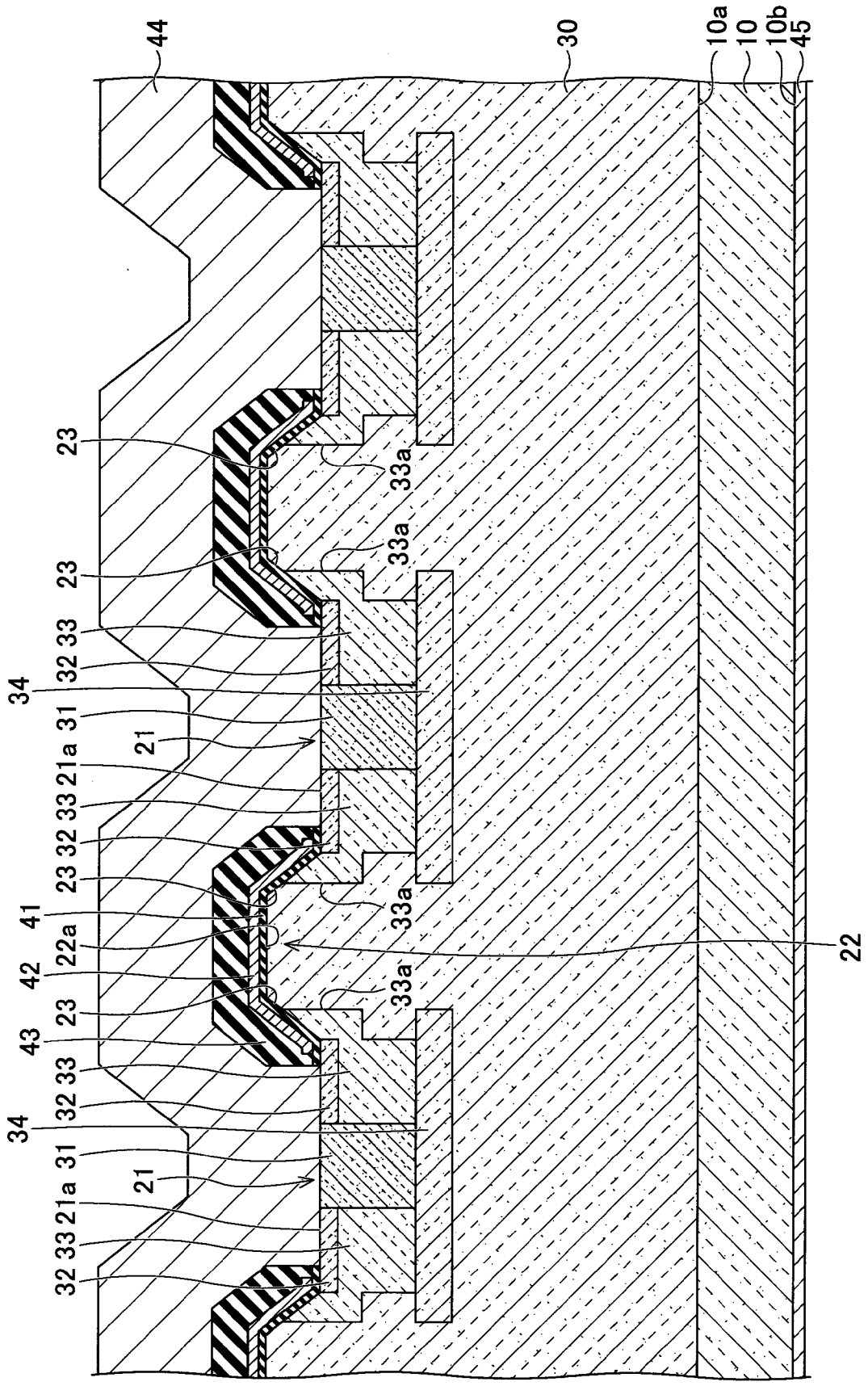
[図19]


30
10a
10
10b
23
33a
23
33a
23
32 33
31 32 33
21
21a 31
21
21a
32 33
32 33
23
33a
22a
65
22
23
33a
23
32 33
31 32 33
21
21a 31
21
21a
32 33
32 33

[図20]


44
30
10a
10
10b
45
23
33a
23
33a
33
32
31
21
21a
33
32
23
33a
41
22a
22
42
23
33a
43
33
32
31
21
21a
33
32

[図21]


44
30
10a
10
10b
45
23
33a
23
33a
32 33
34
31
21
21a
33
32
23
33a
41
22a
22
42
23
33a
43
33
32
34
31
21
21a
33
32

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/024054

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L29/78(2006.01)i, *H01L21/28*(2006.01)i, *H01L21/336*(2006.01)i, *H01L29/12*(2006.01)i, *H01L29/41*(2006.01)i, *H01L29/423*(2006.01)i, *H01L29/49*(2006.01)i
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, H01L21/28, H01L21/336, H01L29/12, H01L29/41, H01L29/423, H01L29/49

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2017 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2017

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	WO 2015/056318 A1 (Mitsubishi Electric Corp.), 23 April 2015 (23.04.2015), paragraphs [0002], [0018], [0026] to [0052]; fig. 1, 11 to 15 & US 2016/0225905 A1 paragraphs [0002], [0034], [0043] to [0072]; fig. 1, 11 to 15 & CN 105637642 A & KR 10-2016-0055904 A	1,2,6 3-5,7
Y A	JP 2016-143788 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 08 August 2016 (08.08.2016), paragraphs [0026], [0031]; fig. 1, 2 (Family: none)	3-5,7 1,2,6

☒ 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
21 July 2017 (21.07.17)	08 August 2017 (08.08.17)
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

International application No.
PCT/JP2017/024054

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2015-153854 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 24 August 2015 (24.08.2015), paragraphs [0030], [0036], [0040]; fig. 1 to 3 (Family: none)	3-5,7 1,2,6
Y A	JP 2016-195225 A (Fuji Electric Co., Ltd.), 17 November 2016 (17.11.2016), paragraphs [0003] to [0004], [0041] to [0042]; fig. 1, 9 (Family: none)	4,5 1-3,6,7

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１７／０２４０５４

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L29/78(2006.01)i, H01L21/28(2006.01)i, H01L21/336(2006.01)i, H01L29/12(2006.01)i, H01L29/41(2006.01)i, H01L29/423(2006.01)i, H01L29/49(2006.01)i

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））

Int.Cl.　H01L29/78, H01L21/28, H01L21/336, H01L29/12, H01L29/41, H01L29/423, H01L29/49

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	１９７１－２０１７年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１７年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１７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
X Y	WO 2015/056318 A1 (三菱電機株式会社) 2015.04.23, 段落[0002],[0018],[0026]-[0052],図 1,11-15 & US 2016/0225905 A1, 段落[0002],[0034],[0043]-[0072],図 1,11-15 & CN 105637642 A & KR 10-2016-0055904 A	1,2,6 3-5,7
Y A	JP 2016-143788 A (住友電気工業株式会社) 2016.08.08, 段落[0026],[0031],図 1,2 (ファミリーなし)	3-5,7 1,2,6

☑ 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矛盾するものではなく、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
２１．０７．２０１７	０８．０８．２０１７

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　５Ｆ　５８９６
恩田　和彦
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３５１６

Ｃ（続き）．　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 2015-153854 A (住友電気工業株式会社)	3-5,7
A	2015.08.24, 段落[0030],[0036],[0040],図 1-3 (ファミリーなし)	1,2,6
Y	JP 2016-195225 A (富士電機株式会社)	4,5
A	2016.11.17, 段落[0003]-[0004],[0041]-[0042],図 1,9 (ファミリーなし)	1-3,6,7