(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
2017年10月26日(26.10.2017)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2017/183301 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 29/78 (2006.01) *H01L 29/47* (2006.01)
H01L 29/12 (2006.01) *H01L 29/872* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2017/007296

(22) 国際出願日： 2017年2月27日(27.02.2017)

(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 2016-086255 2016年4月22日(22.04.2016) 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).

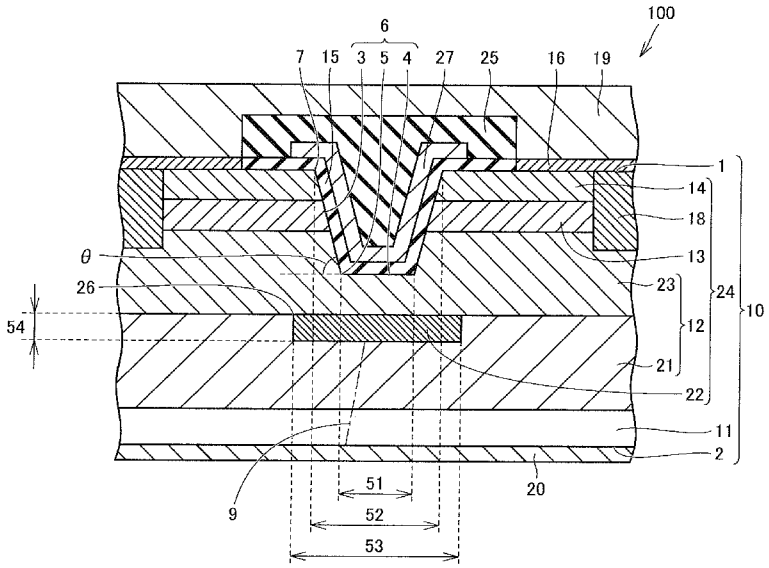
(72) 発明者: 酒 井 光 彦 **(SAKAI, Mitsuhiko)**; 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目１番３号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP). 日吉 透 **(HIYOSHI, Toru)**; 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目１番３号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP). 田中 聡 **(TANAKA, So)**; 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目１番３号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所 **(FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.)**; 〒5300005 大阪府大

(54) **Title:** SILICON CARBIDE SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称： 炭化珪素半導体装置

FIG.1



(57) **Abstract:** According to the present invention, a silicon carbide substrate comprises: a first impurity region; a second impurity region that is in contact with the first impurity region and has p-type conductivity; a third impurity region that is on the first impurity region and the second impurity region and has n-type conductivity; a body region; and a source region. According to the present invention, a gate insulating film has: a lateral surface that is in contact with the source region, the body region and the third impurity region; and a bottom

WO 2017/183301 A1

[続葉有]

阪市北区中之島二丁目２番７号 中之島セントラルタワー Osaka (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, 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：

— 国際調査報告（条約第21条(3)）

surface that is in contact with the third impurity region. The second impurity region includes the bottom surface when viewed from the direction perpendicular to the main surface; and the area of the second impurity region is larger than the area of the bottom surface but three times or less the area of the bottom surface. The impurity concentration of the second impurity region is more than 1×10^{19} cm^{-3} but 1×10^{21} cm^{-3} or less.

(57) 要約：炭化珪素基板は、第１不純物領域と、第１不純物領域に接し、かつｐ型を有する第２不純物領域と、第１不純物領域および第２不純物領域上にあり、かつｎ型を有する第３不純物領域と、ボディ領域と、ソース領域とを含む。ゲート絶縁膜は、側面において、ソース領域と、ボディ領域と、第３不純物領域と接し、かつ底面において、第３不純物領域と接している。主面に対して垂直な方向から見て、第２不純物領域は、底面を包含しており、かつ第２不純物領域の面積は、底面の面積より大きく、底面の面積の３倍以下である。第２不純物領域の不純物濃度は、$１\times１０^{19}ｃｍ^{-3}$を超え、$１\times１０^{21}ｃｍ^{-3}$以下である。

明　細　書

発明の名称 ： 炭化珪素半導体装置

技術分野

[0001] 本開示は、炭化珪素半導体装置に関する。本出願は、２０１６年４月２２日に出願した日本特許出願である特願２０１６－０８６２５５号に基づく優先権を主張する。当該日本特許出願に記載された全ての記載内容は、参照によって本明細書に援用される。

背景技術

[0002] たとえば国際公開２０１２／０１７７９８号（特許文献１）には、耐圧保持層の表面にトレンチが設けられたトレンチ型ＭＯＳＦＥＴ（Ｍｅｔａｌ Ｏｘｉｄｅ Ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ Ｆｉｅｌｄ Ｅｆｆｅｃｔ Ｔｒａｎｓｉｓｔｏｒ）が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：国際公開２０１２／０１７７９８号

発明の概要

[0004] 本開示の一態様に係る炭化珪素半導体装置は、炭化珪素基板と、ゲート絶縁膜とを備えている。炭化珪素基板は、主面を有する。ゲート絶縁膜は、炭化珪素基板上にある。炭化珪素基板は、ｎ型を有する第１不純物領域と、第１不純物領域に接し、かつｐ型を有する第２不純物領域と、第１不純物領域および第２不純物領域上にあり、第１不純物領域よりも高い不純物濃度を有し、かつｎ型を有する第３不純物領域と、第３不純物領域上にあり、かつｐ型を有するボディ領域と、ボディ領域上にあり、ボディ領域によって第３不純物領域から隔てられており、かつｎ型を有するソース領域とを含む。主面には、側面と、側面と連なる底面とにより規定されたトレンチが設けられている。ゲート絶縁膜は、側面において、ソース領域と、ボディ領域と、第３不純物領域と接し、かつ底面において、第３不純物領域と接している。主面

に対して垂直な方向から見て、第２不純物領域は、底面を包含しており、かつ第２不純物領域の面積は、底面の面積より大きく、底面の面積の３倍以下である。第２不純物領域の不純物濃度は、１×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$を超え、１×１０^{21}ｃｍ$^{-3}$以下である。

図面の簡単な説明

[0005] [図1]図１は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の構成を示し、かつ図２のＩ－Ｉ線に沿った断面模式図である。

[図2]図２は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の第２不純物領域とトレンチとの関係を示す平面模式図である。

[図3]図３は、第１変形例に係る炭化珪素半導体装置の第２不純物領域とトレンチとの関係を示す平面模式図である。

[図4]図４は、第２変形例に係る炭化珪素半導体装置の第２不純物領域とトレンチとの関係を示す平面模式図である。

[図5]図５は、第３変形例に係る炭化珪素半導体装置の構成を示す断面模式図である。

[図6]図６は、第３変形例に係る炭化珪素半導体装置の第２不純物領域とトレンチとの関係を示す平面模式図である。

[図7]図７は、第４変形例に係る炭化珪素半導体装置の第２不純物領域とトレンチとの関係を示す平面模式図である。

[図8]図８は、第５変形例に係る炭化珪素半導体装置の第２不純物領域とトレンチとの関係を示す平面模式図である。

[図9]図９は、第６変形例に係る炭化珪素半導体装置の構成を示す断面模式図である。

[図10]図１０は、第６変形例に係る炭化珪素半導体装置の第２不純物領域とトレンチとの関係を示す平面模式図である。

[図11]図１１は、第７変形例に係る炭化珪素半導体装置の第２不純物領域とトレンチとの関係を示す平面模式図である。

[図12]図１２は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を概略的

に示すフロー図である。

[図13]図１３は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の第１工程を示す断面模式図である。

[図14]図１４は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の第２工程を示す断面模式図である。

[図15]図１５は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の第３工程を示す断面模式図である。

[図16]図１６は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の第４工程を示す断面模式図である。

[図17]図１７は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の第５工程を示す断面模式図である。

[図18]図１８は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の第６工程を示す断面模式図である。

[図19]図１９は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の第７工程を示す断面模式図である。

[図20]図２０は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の第８工程を示す断面模式図である。

[図21]図２１は、第８変形例に係る炭化珪素半導体装置の構成を示す断面模式図である。

[図22]図２２は、図２１のＸＸＩＩ－ＸＸＩＩ線に沿った矢視断面模式図である。

[図23]図２３は、第９変形例に係る炭化珪素半導体装置の構成を示す断面模式図である。

[図24]図２４は、図２３のＸＸＩＶ－ＸＸＩＶ線に沿った矢視断面模式図である。

[図25]図２５は、サンプル２および４～６に係る炭化珪素基板１０の構造を示す断面模式図である。

[図26]図２６は、サンプル１および３に係る炭化珪素基板１０の構造を示す

断面模式図である。

[図27]図２７は、サンプル３に係る炭化珪素基板１０の第１主面において撮影された画像を示す図である。

[図28]図２８は、サンプル１に係る炭化珪素基板１０のｐ型領域の表面において撮影された画像を示す図である。

発明を実施するための形態

[0006] ［本開示の実施形態の概要］

まず、本開示の実施形態の概要について説明する。本明細書中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。また結晶学上の指数が負であることは、通常、”－”（バー）を数字の上に付すことによって表現されるが、本明細書中では数字の前に負の符号を付している。

[0007] （１）本開示の一態様に係る炭化珪素半導体装置１００は、炭化珪素基板１０と、ゲート絶縁膜１５とを備えている。炭化珪素基板１０は、主面１を有する。ゲート絶縁膜１５は、炭化珪素基板１０上にある。炭化珪素基板１０は、ｎ型を有する第１不純物領域２１と、第１不純物領域２１に接し、かつｐ型を有する第２不純物領域２２と、第１不純物領域２１および第２不純物領域２２上にあり、第１不純物領域２１よりも高い不純物濃度を有し、かつｎ型を有する第３不純物領域２３と、第３不純物領域２３上にあり、かつｐ型を有するボディ領域１３と、ボディ領域１３上にあり、ボディ領域１３によって第３不純物領域２３から隔てられており、かつｎ型を有するソース領域１４とを含む。主面１には、側面３と、側面３と連なる底面４とにより規定されたトレンチ６が設けられている。ゲート絶縁膜１５は、側面３において、ソース領域１４と、ボディ領域１３と、第３不純物領域２３と接し、かつ底面４において、第３不純物領域２３と接している。主面１に対して垂直な方向から見て、第２不純物領域２２は、底面４を包含しており、かつ第２不純物領域２２の面積は、底面４の面積より大きく、底面４の面積の３倍以下である。第２不純物領域２２の不純物濃度は、１×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$を超え、

$1\times10^{21}cm^{-3}$以下である。

[0008] 炭化珪素単結晶基板上に炭化珪素層をエピタキシャル成長により形成する際、炭化珪素単結晶基板に存在していた貫通らせん転位が炭化珪素層に引き継がれる。炭化珪素層の成長に伴って、貫通らせん転位は炭化珪素層中を伸展する。貫通らせん転位がトレンチの底面に到達して露出すると、当該底面上に形成されたゲート絶縁膜の信頼性が低下する場合がある。

[0009] 発明者らは鋭意研究の結果、トレンチ６の底面４を包含するように第２不純物領域２２（すなわち格子の乱れ）を設け、第２不純物領域２２の不純物濃度を$1\times10^{19}cm^{-3}$を超え$1\times10^{21}cm^{-3}$以下とすることにより、第２不純物領域２２で貫通らせん転位９の伸展を抑制し、貫通らせん転位９が底面４に達しないようにすることが可能であることを見出した（図１参照）。結果として、底面４上に形成されるゲート絶縁膜１５の信頼性を向上することができる。

[0010] （２）上記（１）に係る炭化珪素半導体装置１００において、主面１に対して垂直な方向から見て、第２不純物領域２２の外縁２６は、底面４の全周囲において、底面４の外縁５から離間していてもよい。これにより、ゲート絶縁膜１５の信頼性をより向上することができる。

[0011] （３）上記（１）または（２）に係る炭化珪素半導体装置１００において、主面１に対して垂直な方向における第２不純物領域２２の厚み５４は、０．７μｍ以上であってもよい。これにより、ゲート絶縁膜１５の信頼性をより向上することができる。

[0012] （４）上記（１）～（３）のいずれかに係る炭化珪素半導体装置１００において、主面１に対して平行な方向において、トレンチ６の開口部７の幅５２は、底面４の幅５１よりも大きく、かつ第２不純物領域２２の幅５３よりも小さくてもよい。これにより、第２不純物領域２２がトレンチ６の開口部７を包含するため、貫通らせん転位がトレンチ６の側面３に達することを抑制することができる。結果として、ゲート絶縁膜１５の信頼性をより向上することができる。

[0013] （５）上記（１）～（３）のいずれかに係る炭化珪素半導体装置１００において、主面１に対して平行な方向において、第２不純物領域２２の幅５３は、底面４の幅５１よりも大きく、かつトレンチ６の開口部７の幅５２よりも小さくてもよい。これにより、第２不純物領域２２の幅が大きくなり過ぎることを抑制することができるので、オン抵抗を低減しつつ、ゲート絶縁膜１５の信頼性を向上することができる。

[0014] ［本開示の実施形態の詳細］

以下、本開示の実施形態（以降、本実施形態と称する）の詳細について図に基づいて説明する。なお、以下の図面において、同一または相当する部分には同一の参照番号を付し、その説明は繰り返さない。

[0015] まず、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置としてのＭＯＳＦＥＴの構成について説明する。

[0016] 図１に示されるように、本実施形態に係るＭＯＳＦＥＴ１００は、炭化珪素基板１０と、ゲート絶縁膜１５と、ゲート電極２７と、層間絶縁膜２５と、ソース電極１６と、ソース配線１９と、ドレイン電極２０とを主に有している。炭化珪素基板１０は、炭化珪素単結晶基板１１と、炭化珪素単結晶基板１１上に設けられた炭化珪素エピタキシャル層２４を含む。炭化珪素基板１０は、第１主面１と、第１主面１と反対側にある第２主面２とを有する。炭化珪素エピタキシャル層２４は第１主面１を構成し、炭化珪素単結晶基板１１は第２主面２を構成する。

[0017] 第１主面１は、たとえば｛０００－１｝面または｛０００－１｝面から２°以上８°以下オフした面である。第１主面１は、たとえば（０００－１）面または（０００－１）面から２°以上８°以下オフした面である。炭化珪素単結晶基板１１および炭化珪素エピタキシャル層２４は、たとえばポリタイプ４Ｈの六方晶炭化珪素である。炭化珪素単結晶基板１１は、たとえば窒素などのｎ型不純物を含みｎ型の導電型を有する。炭化珪素エピタキシャル層２４は、ドリフト領域１２と、ｐ型領域２２と、ボディ領域１３と、ソース領域１４と、コンタクト領域１８とを主に含む。

[0018] ドリフト領域１２は、第１不純物領域２１と、第３不純物領域２３とを有する。第１不純物領域２１は、たとえば窒素などのｎ型不純物を含み、ｎ型の導電型を有する。第１不純物領域２１のｎ型不純物の濃度は、たとえば７×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$程度である。炭化珪素単結晶基板１１のｎ型不純物の濃度は、第１不純物領域２１のｎ型不純物の濃度よりも高くてもよい。

[0019] 第３不純物領域２３は、たとえば窒素などのｎ型不純物を含み、ｎ型の導電型を有する。第３不純物領域２３のｎ型不純物の濃度は、第１不純物領域２１のｎ型不純物の濃度よりも高い。第３不純物領域２３のｎ型不純物の濃度は、たとえば３×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$程度である。第３不純物領域２３は、第１不純物領域２１およびｐ型領域２２上にある。第３不純物領域２３の底面は、第１不純物領域２１およびｐ型領域２２の頂面に接している。

[0020] ｐ型領域２２は、たとえばアルミニウムなどのｐ型不純物を含み、ｐ型の導電型を有する。ｐ型領域２２のｐ型不純物の濃度は、１×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$を超え、１×１０^{21}ｃｍ$^{-3}$以下である。ｐ型領域２２のｐ型不純物の濃度は、たとえば５×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$以上であってもよいし、１×１０^{20}ｃｍ$^{-3}$以上であってもよい。ｐ型領域２２のｐ型不純物の濃度は、５×１０^{20}ｃｍ$^{-3}$以下であってもよいし、１×１０^{20}ｃｍ$^{-3}$以下であってもよい。ｐ型不純物の濃度は、たとえばＳＩＭＳ（Ｓｅｃｏｎｄａｒｙ Ｉｏｎ Ｍａｓｓ Ｓｐｅｃｔｒｏｍｅｔｒｙ）により測定可能である。

[0021] ｐ型領域２２は、第１不純物領域２１に接する。具体的には、ｐ型領域２２の底面および側面が第１不純物領域２１に接し、ｐ型領域２２の頂面は、第３不純物領域２３に接する。言い換えれば、ｐ型領域２２は、第１不純物領域２１と、第３不純物領域２３とに挟まれている。第１主面１に対して垂直な方向における第２不純物領域２２の厚み５４は、たとえば０．７μｍ以上であり、好ましくは０．３μｍ以上であり、より好ましくは０．５μｍ以上である。第２不純物領域２２の厚み５４の上限は特に限定されないが、第２不純物領域２２の厚み５４は、たとえば１．５μｍ以下である。

[0022] ボディ領域１３は第３不純物領域２３上にある。ボディ領域１３の底面は

、第３不純物領域２３の頂面に接している。ボディ領域１３は、たとえばアルミニウムなどのｐ型不純物を含み、ｐ型の導電型を有する。ボディ領域１３のｐ型不純物の濃度は、第３不純物領域２３のｎ型不純物の濃度よりも低くてもよい。ゲート絶縁膜１５と対向するボディ領域１３の領域において、チャネルが形成可能である。

[0023] ソース領域１４は、ボディ領域１３上にある。ソース領域１４の底面は、ボディ領域１３の頂面と接する。ソース領域１４は、ボディ領域１３によって第３不純物領域２３から隔てられている。ソース領域１４は、たとえば窒素またはリンなどのｎ型不純物を含んでおり、ｎ型の導電型を有する。ソース領域１４は、炭化珪素基板１０の第１主面１の一部を構成する。ソース領域１４のｎ型不純物の濃度は、第３不純物領域２３のｎ型不純物の濃度よりも高くてもよい。

[0024] コンタクト領域１８は、ボディ領域１３と、ソース領域１４とに接している。コンタクト領域１８は、たとえばアルミニウムなどのｐ型不純物を含んでおり、ｐ型の導電型を有する。コンタクト領域１８が含むｐ型不純物の濃度は、ボディ領域１３が含むｐ型不純物の濃度よりも高くてもよい。コンタクト領域１８は、第３不純物領域２３と第１主面１とを繋ぐ。コンタクト領域１８は、ソース領域１４およびボディ領域１３を貫通して設けられている。第１主面１と垂直な方向において、コンタクト領域１８の底面は、たとえばボディ領域１３の底面と、トレンチ６の底面４との間にある。

[0025] 炭化珪素基板１０の第１主面１には、側面３と、底面４とにより規定されたトレンチ６が設けられている。底面４は、側面３と連なる。側面３は、ボディ領域１３とソース領域１４を貫通して第３不純物領域２３に至っている。底面４は、第３不純物領域２３に位置している。好ましくは、側面３と底面４に沿った面とがなす角度θは９０°であってもよいし、９０°よりも小さくてもよい。角度θは、たとえば５４．７°である。

[0026] 断面視（第２主面２と平行な方向から見た視野）において、トレンチ６の幅が底面４に向かってテーパ状に狭まるように側面３が傾斜していてもよい

。側面３は、たとえば（０００－１）面に対して５２°以上７２°以下傾斜している。側面３は、第１主面１に対してほぼ垂直であってもよい。底面４は、第１主面１とほぼ平行であってもよい。断面視において、トレンチ６は、Ｕ字状またはＶ字状の形状を有してもよい。ソース領域１４およびボディ領域１３は、トレンチ６の側面３に露出している。第３不純物領域２３は、トレンチ６の側面３および底面４の双方に露出している。

[0027] ゲート絶縁膜１５は、炭化珪素基板１０上にある。ゲート絶縁膜１５は、たとえば熱酸化膜である。ゲート絶縁膜１５は、たとえば二酸化珪素を含む材料により構成されている。ゲート絶縁膜１５の厚みは、たとえば４５ｎｍ程度である。ゲート絶縁膜１５は、側面３において、ソース領域１４と、ボディ領域１３と、第３不純物領域２３と接している。ゲート絶縁膜１５は、底面４において、第３不純物領域２３と接している。ゲート絶縁膜１５は、第１主面１においてソース領域１４と接していてもよい。

[0028] ゲート電極２７は、トレンチ６の内部においてゲート絶縁膜１５上に設けられている。ゲート電極２７は、たとえば不純物を含むポリシリコンにより構成されている。ゲート電極２７は、ソース領域１４と、ボディ領域１３と、第３不純物領域２３とに対面するように設けられている。

[0029] ソース電極１６は、第１主面１においてソース領域１４およびコンタクト領域１８と接している。ソース電極１６は、たとえばＴｉと、ＡｌとＳｉとを含む材料から構成されている。好ましくは、ソース電極１６は、ソース領域１４およびコンタクト領域１８とオーミック接合している。ソース配線１９はソース電極１６に接している。ソース配線１９は、たとえばアルミニウムを含む材料から構成されている。

[0030] 層間絶縁膜２５は、ゲート電極２７およびゲート絶縁膜１５に接して設けられている。層間絶縁膜２５は、たとえば二酸化珪素を含む材料から構成されている。層間絶縁膜２５は、ゲート電極２７とソース電極１６とを電気的に絶縁している。ドレイン電極２０は、第２主面２において炭化珪素単結晶基板１１と接しており、ドリフト領域１２と電気的に接続されている。ドレ

イン電極２０は、たとえばＮｉＳｉまたはＴｉＡｌＳｉを含む材料から構成されている。

[0031] 図２に示されるように、第１主面１に対して垂直な方向から見て、第２不純物領域２２と、トレンチ６の開口部７と、底面４とは、長方形の部分を有する。言い換えれば、第２不純物領域２２と、トレンチ６の開口部７と、底面４とは、長手方向６０の寸法と、短手方向５０の寸法とを有する。長手方向６０および短手方向５０は、第１主面１に対してほぼ平行である。長手方向６０は、短手方向５０に対してほぼ垂直である。

[0032] 図１および図２に示されるように、第１主面１に平行な方向において、トレンチ６の開口部７の幅５２は、底面４の幅５１よりも大きく、かつ第２不純物領域２２の幅５３よりも小さくてもよい。第２不純物領域２２は、底面４の全面および側面３の全面に対面している。第２不純物領域２２は、第１主面１の一部に対面している。トレンチ６の開口部７は、第１主面１と側面３との境界部により規定される。

[0033] 図２に示されるように、第１主面１に対して垂直な方向から見て、第２不純物領域２２は、底面４を包含している。第１主面１に対して垂直な方向から見て、第２不純物領域２２の面積は、底面４の面積より大きく、底面４の面積の３倍以下である。第２不純物領域２２の面積は、たとえば底面４の面積の２．５倍以下であってもよいし、２倍以下であってもよい。好ましくは、第２不純物領域２２の面積は、第１主面１におけるトレンチ６の開口部７により囲まれる面積より大きい。

[0034] 第１主面１に対して垂直な方向から見て、第２不純物領域２２の外縁２６は、底面４の全周囲において、底面４の外縁５から離間していてもよい。同様に、第１主面１に対して垂直な方向から見て、第２不純物領域２２の外縁２６は、開口部７の全周囲において、開口部７の外縁から離間していてもよい。言い換えれば、第１主面１に対して垂直な方向から見て、第２不純物領域２２は、開口部７を包含している。第２不純物領域２２の長手方向６０において、トレンチ６の開口部７の幅６２は、底面４の幅６１よりも大きく、

かつ第２不純物領域２２の幅６３よりも小さくてもよい。

[0035] （第１変形例）

次に、第１変形例に係るＭＯＳＦＥＴ１００の構成について説明する。第１変形例の係るＭＯＳＦＥＴ１００の構成は、以下で説明する構成において、図１に示すＭＯＳＦＥＴの構成と異なっており、その他の構成については図１に示すＭＯＳＦＥＴの構成とほぼ同じである。図３に示されるように、第２不純物領域２２の長手方向６０において、トレンチ６の開口部７の幅６２は、底面４の幅６１とほぼ同じであってもよい。第２不純物領域２２の長手方向６０において、トレンチ６の開口部７の幅６２および底面４の幅６１は、第２不純物領域２２の幅６３よりも小さくてもよい。

[0036] （第２変形例）

次に、第２変形例に係るＭＯＳＦＥＴ１００の構成について説明する。第２変形例の係るＭＯＳＦＥＴ１００の構成は、以下で説明する構成において、図１に示すＭＯＳＦＥＴの構成と異なっており、その他の構成については図１に示すＭＯＳＦＥＴの構成とほぼ同じである。図４に示されるように、第２不純物領域２２の長手方向６０において、トレンチ６の開口部７の幅６２は、第２不純物領域２２の幅６３とほぼ同じであってもよい。同様に、第２不純物領域２２の長手方向６０において、底面４の幅６１は、第２不純物領域２２の幅６３とほぼ同じであってもよい。

[0037] （第３変形例）

次に、第３変形例に係るＭＯＳＦＥＴ１００の構成について説明する。第３変形例の係るＭＯＳＦＥＴ１００の構成は、以下で説明する構成において、図１に示すＭＯＳＦＥＴの構成と異なっており、その他の構成については図１に示すＭＯＳＦＥＴの構成とほぼ同じである。図５に示されるように、第１主面１に対して平行な方向において、第２不純物領域２２の幅５３は、底面４の幅５１よりも大きく、かつトレンチ６の開口部７の幅５２よりも小さくてもよい。

[0038] 図６に示されるように、第２不純物領域２２の長手方向６０において、第

２不純物領域２２の幅６３は、トレンチ６の開口部７の幅６２よりも小さく、かつ底面４の幅６１よりも大きくてもよい。同様に、第２不純物領域２２の短手方向５０において、第２不純物領域２２の幅６３は、トレンチ６の開口部７の幅６２よりも小さく、かつ底面４の幅６１よりも大きくてもよい。

[0039] （第４変形例）

次に、第４変形例に係るＭＯＳＦＥＴ１００の構成について説明する。第４変形例の係るＭＯＳＦＥＴ１００の構成は、以下で説明する構成において、図５に示すＭＯＳＦＥＴの構成と異なっており、その他の構成については図５に示すＭＯＳＦＥＴの構成とほぼ同じである。図７に示されるように、第２不純物領域２２の長手方向６０において、第２不純物領域２２の幅６３は、トレンチ６の開口部７の幅６２よりも大きく、かつ底面４の幅６１よりも大きくてもよい。第２不純物領域２２の長手方向６０において、トレンチ６の開口部７の幅６２は、底面４の幅６１とほぼ同じであってもよい。

[0040] （第５変形例）

次に、第５変形例に係るＭＯＳＦＥＴ１００の構成について説明する。第５変形例の係るＭＯＳＦＥＴ１００の構成は、以下で説明する構成において、図５に示すＭＯＳＦＥＴの構成と異なっており、その他の構成については図５に示すＭＯＳＦＥＴの構成とほぼ同じである。図８に示されるように、第２不純物領域２２の長手方向６０において、第２不純物領域２２の幅６３は、底面４の幅６１とほぼ同じであってもよい。第２不純物領域２２の長手方向６０において、トレンチ６の開口部７の幅６２は、底面４の幅６１とほぼ同じであってもよい。

[0041] （第６変形例）

次に、第６変形例に係るＭＯＳＦＥＴ１００の構成について説明する。第６変形例の係るＭＯＳＦＥＴ１００の構成は、以下で説明する構成において、図１に示すＭＯＳＦＥＴの構成と異なっており、その他の構成については図１に示すＭＯＳＦＥＴの構成とほぼ同じである。図９に示されるように、第１主面１に対して平行な方向において、第２不純物領域２２の幅５３は、

底面４の幅５１とほぼ同じであり、かつトレンチ６の開口部７の幅５２よりも小さくてもよい。

[0042] 図１０に示されるように、第２不純物領域２２の長手方向６０において、第２不純物領域２２の幅６３は、トレンチ６の開口部７の幅６２よりも小さく、かつ底面４の幅６１よりも大きくてもよい。第２不純物領域２２の短手方向５０において、第２不純物領域２２の幅６３は、トレンチ６の開口部７の幅６２よりも小さく、かつ底面４の幅６１とほぼ同じであってもよい。

[0043] （第７変形例）

次に、第７変形例に係るＭＯＳＦＥＴ１００の構成について説明する。第７変形例の係るＭＯＳＦＥＴ１００の構成は、以下で説明する構成において、図９に示すＭＯＳＦＥＴの構成と異なっており、その他の構成については図９に示すＭＯＳＦＥＴの構成とほぼ同じである。図１１に示されるように、第２不純物領域２２の長手方向６０において、第２不純物領域２２の幅６３は、トレンチ６の開口部７の幅６２よりも大きく、かつ底面４の幅６１よりも大きくてもよい。第２不純物領域２２の長手方向６０において、トレンチ６の開口部７の幅６２は、底面４の幅６１とほぼ同じであってもよい。

[0044] なお、上記においては、第２不純物領域２２は長方形の部分を有する場合について説明したが、第２不純物領域２２は長方形の部分を有する場合に限定されない。第２不純物領域２２の形状は、たとえば六角形などの多角形であってもよいし、ハニカム形状であってもよい。

[0045] 次に、本実施形態に係るＭＯＳＦＥＴ１００の製造方法について説明する。

まず、炭化珪素基板を準備する工程（Ｓ１０：図１２）が実施される。たとえば昇華法を用いて炭化珪素単結晶基板１１が準備される。炭化珪素単結晶基板の最大径は、たとえば１００ｍｍ以上であり、好ましくは１５０ｍｍ以上である。たとえば原料ガスとしてシラン（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たとえば水素ガス（H_2）を用い、ドーパントガスとしてアンモニア（NH_3）を用いたＣＶＤ（Ｃｈｅｍｉｃａ

ｌ　Ｖａｐｏｒ　Ｄｅｐｏｓｉｔｉｏｎ）法により、炭化珪素単結晶基板１１上に第１不純物領域２１がエピタキシャル成長する（図１３参照）。第１不純物領域２１の厚みは、たとえば９μｍである。第１不純物領域２１が含む窒素原子の濃度は、たとえば７×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$程度である。

[0046] 次に、第１不純物領域２１の表面８にマスク層（図示せず）が形成される。マスク層は、ｐ型領域２２が形成される領域上に開口部を有する。当該マスク層を用いて、第１不純物領域２１の表面８に対して、たとえばアルミニウムなどのｐ型不純物がイオン注入される。これにより、第１不純物領域２１の表面８に露出するｐ型領域２２が形成される（図１４参照）。ｐ型領域２２の厚みは、たとえば０．７μｍ以上１μｍ以下である。ｐ型領域２２のｐ型不純物の濃度は、１×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$を超え、１×１０^{21}ｃｍ$^{-3}$以下である。次に、マスク層が第１不純物領域２１の表面８から除去される。

[0047] 次に、たとえば原料ガスとしてシランとプロパンとの混合ガスを用い、キャリアガスとしてたとえば水素ガスを用い、ドーパントガスとしてアンモニアを用いたＣＶＤ法により、第１不純物領域２１およびｐ型領域２２上に第３不純物領域２３がエピタキシャル成長する（図１５参照）。第３不純物領域２３の厚みは、たとえば３μｍである。第３不純物領域２３が含む窒素原子の濃度は、たとえば３×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$程度である。

[0048] 次に、イオン注入工程が実施される。第３不純物領域２３の表面１に対して、たとえばアルミニウムなどのｐ型不純物がイオン注入される。これにより、第３不純物領域２３と接するｐ型層１３が形成される（図１６参照）。ｐ型層１３の厚みは、たとえば０．９μｍである。次に、ｐ型層１３の表面１に対して、たとえばリンなどのｎ型不純物がイオン注入される。これにより、ｎ型の導電型を有するソース領域１４が形成される（図１７参照）。ソース領域１４の厚みは、たとえば０．４μｍである。ソース領域１４は、第１主面１を構成する。ソース領域１４が含むｎ型不純物の濃度は、ｐ型層１３が含むｐ型不純物の濃度よりも高い。次に、ソース領域１４に対して、たとえばアルミニウムなどのｐ型不純物がイオン注入されることにより、コン

タクト領域１８が形成される。コンタクト領域１８は、ソース領域１４およびｐ型層１３を貫通し、第３不純物領域２３に接するように形成される。コンタクト領域１８が含むｐ型不純物の濃度は、ソース領域１４が含むｎ型不純物の濃度よりも高い。

[0049] 次に、炭化珪素基板１０にイオン注入された不純物を活性化するため活性化アニールが実施される。活性化アニールの温度は、好ましくは１５００℃以上１９００℃以下であり、たとえば１７００℃程度である。活性化アニールの時間は、たとえば３０分程度である。活性化アニールの雰囲気は、好ましくは不活性ガス雰囲気であり、たとえばＡｒ雰囲気である。

[0050] 次に、トレンチを形成する工程（Ｓ２０：図１２）が実施される。たとえば、ソース領域１４およびコンタクト領域１８から構成される第１主面１上に、トレンチ６（図１）が形成される位置上に開口を有するマスク１７が形成される。マスク１７を用いて、ソース領域１４と、ボディ領域１３と、第３不純物領域２３の一部とがエッチングにより除去される。エッチングの方法としては、たとえば反応性イオンエッチング、特に誘導結合プラズマ反応性イオンエッチングを用いることができる。具体的には、たとえば反応ガスとしてSF_6またはSF_6とO_2との混合ガスを用いた誘導結合プラズマ反応性イオンエッチングを用いることができる。エッチングにより、トレンチ６が形成されるべき領域に、第１主面１に対してほぼ垂直な側部と、側部と連続的に設けられ、かつ第１主面１とほぼ平行な底部とを有する凹部が形成される。

[0051] 次に、凹部において熱エッチングが行われる。熱エッチングは、第１主面１上にマスク１７が形成された状態で、たとえば、少なくとも１種類以上のハロゲン原子を有する反応性ガスを含む雰囲気中での加熱によって行い得る。少なくとも１種類以上のハロゲン原子は、塩素（Ｃｌ）原子およびフッ素（Ｆ）原子の少なくともいずれかを含む。当該雰囲気は、たとえば、Cl_2、BCl_3、SF_6またはCF_4を含む。たとえば、塩素ガスと酸素ガスとの混合ガスを反応ガスとして用い、熱処理温度を、たとえば７００℃以上１０００℃

以下として、熱エッチングが行われる。なお、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、たとえば窒素ガス、アルゴンガスまたはヘリウムガスなどを用いることができる。

[0052] 上記熱エッチングにより、炭化珪素基板１０の第１主面１にトレンチ６が形成される（図１８参照）。トレンチ６は、側面３と、底面４とにより規定される。側面３は、ソース領域１４と、ボディ領域１３と、第３不純物領域２３とにより構成される。底面４は、第３不純物領域２３により構成される。側面３と、底面４に沿った面との間の角度θは、たとえば５４．７°である。次に、マスク１７が第１主面１から除去される。

[0053] 次に、ゲート絶縁膜を形成する工程（Ｓ３０：図１２）が実施される。たとえば、炭化珪素基板１０が、酸素を含む雰囲気中において、たとえば１３００℃以上１４００℃以下の温度で加熱される。これにより、底面４において第３不純物領域２３と接し、かつ側面３において第３不純物領域２３と、ボディ領域１３と、ソース領域１４とに接し、かつ第１主面１においてソース領域１４と接するゲート絶縁膜１５が形成される（図１９参照）。

[0054] 炭化珪素基板１０を熱酸化することによりゲート絶縁膜１５を形成した後に、一酸化窒素（ＮＯ）ガス雰囲気中において炭化珪素基板１０に対して熱処理（ＮＯアニール）が行われてもよい。ＮＯアニールにおいて、炭化珪素基板１０が、たとえば１１００℃以上１３００℃以下の条件下で１時間程度保持される。これにより、ゲート絶縁膜１５とボディ領域１３との界面領域に窒素原子が導入される。その結果、界面領域における界面準位の形成が抑制されることで、チャネル移動度を向上させることができる。なお、窒素原子の導入が可能であれば、ＮＯガス以外のガス（たとえばN_2O）が雰囲気ガスとして用いられてもよい。ＮＯアニールの後にさらに、雰囲気ガスとしてアルゴン（Ａｒ）を用いるＡｒアニールが行われてもよい。Ａｒアニールの加熱温度は、たとえば上記ＮＯアニールの加熱温度以上である。Ａｒアニールの時間は、たとえば１時間程度である。これにより、ゲート絶縁膜１５と

ボディ領域１３との界面領域における界面準位の形成がさらに抑制される。

[0055] 次に、ゲート電極を形成する工程（Ｓ４０：図１２）が実施される。たとえば、トレンチ６の内部においてゲート絶縁膜１５に接するゲート電極２７が形成される。ゲート電極２７は、トレンチ６の内部に配置され、ゲート絶縁膜１５上においてトレンチ６の側面３および底面４の各々と対面するように形成される。ゲート電極２７は、たとえばＬＰＣＶＤ（Ｌｏｗ Ｐｒｅｓｓｕｒｅ Ｃｈｅｍｉｃａｌ Ｖａｐｏｒ Ｄｅｐｏｓｉｔｉｏｎ）法により形成される。

[0056] 次に、層間絶縁膜を形成する工程（Ｓ５０：図１２）が形成される。たとえば、ゲート電極２７を覆い、かつゲート絶縁膜１５と接するように層間絶縁膜２５が形成される。好ましくは、層間絶縁膜２５は、堆積法により形成され、より好ましくは化学気相成長法により形成される。層間絶縁膜２５は、たとえば二酸化珪素を含む材料からなる。次に、ソース領域１４およびコンタクト領域１８上に開口部が形成されるように、層間絶縁膜２５およびゲート絶縁膜１５の一部がエッチングされる。これにより、コンタクト領域１８およびソース領域１４がゲート絶縁膜１５から露出する（図２０参照）。

[0057] 次に、ソース電極を形成する工程（Ｓ６０：図１２）が実施される。次に、第１主面１においてソース領域１４およびコンタクト領域１８に接するソース電極１６が形成される。ソース電極１６は、たとえばスパッタリング法により形成される。ソース電極１６は、たとえばＴｉ、ＡｌおよびＳｉを含む材料からなる。次に、合金化アニールが実施される。具体的には、ソース領域１４およびコンタクト領域１８と接するソース電極１６が、たとえば９００℃以上１１００℃以下の温度で５分程度保持される。これにより、ソース電極１６の少なくとも一部が、炭化珪素基板１０が含む珪素と反応してシリサイド化する。これにより、ソース領域１４とオーミック接合するソース電極１６が形成される。好ましくは、ソース電極１６は、コンタクト領域１８とオーミック接合する。

[0058] 次に、ソース電極１６と電気的に接続されるソース配線１９が形成される

。ソース配線１９は、ソース電極１６および層間絶縁膜２５上に形成される。次に、第２主面２において、炭化珪素基板１０バックグラインディングされる。これにより、炭化珪素基板１０が薄くされる。次に、第２主面２と接するようにドレイン電極２０が形成される。以上により、本実施形態に係るＭＯＳＦＥＴ１００（図１）が製造される。

[0059] なお、上記実施形態においては、炭化珪素半導体装置がＭＯＳＦＥＴの場合について説明したが、炭化珪素半導体装置は、ＭＯＳＦＥＴに限定されない。炭化珪素半導体装置は、たとえばＩＧＢＴ（Ｉｎｓｕｌａｔｅｄ Ｇａｔｅ Ｂｉｐｏｌａｒ Ｔｒａｎｓｉｓｔｏｒ）等であってもよい。

[0060] 次に、本実施形態に係るＭＯＳＦＥＴの作用効果について説明する。

本実施形態に係るＭＯＳＦＥＴ１００によれば、トレンチ６の底面４を包含するようにｐ型領域２２が設けられ、ｐ型領域２２のアルミニウム原子の濃度は$1\times10^{19}cm^{-3}$を超え$1\times10^{21}cm^{-3}$以下である。これにより、ｐ型領域２２で貫通らせん転位９の伸展を抑制し、貫通らせん転位９が底面４に達しないようにすることが可能である。またｐ型領域２２を設けることで、底面４における電界集中を緩和することができる。結果として、底面４上に形成されるゲート絶縁膜１５の信頼性を向上することができる。

[0061] また本実施形態に係るＭＯＳＦＥＴ１００によれば、第１主面１に対して垂直な方向から見て、第２不純物領域２２の外縁２６は、底面４の全周囲において、底面４の外縁５から離間している。これにより、ゲート絶縁膜１５の信頼性をより向上することができる。

[0062] さらに本実施形態に係るＭＯＳＦＥＴ１００によれば、第１主面１に対して垂直な方向における第２不純物領域２２の厚み５４は、０．７μｍ以上である。これにより、ゲート絶縁膜１５の信頼性をより向上することができる。

[0063] さらに本実施形態に係るＭＯＳＦＥＴ１００によれば、第１主面１に対して平行な方向において、トレンチ６の開口部７の幅５２は、底面４の幅５１よりも大きく、かつｐ型領域２２の幅５３よりも小さい。これにより、ｐ型

領域２２がトレンチ６の開口部７を包含するため、貫通らせん転位９がトレンチ６の側面３に達することを抑制することができる。結果として、ゲート絶縁膜１５の信頼性をより向上することができる。

[0064] さらに本実施形態に係るＭＯＳＦＥＴ１００によれば、第１主面１に対して平行な方向において、ｐ型領域２２の幅５３は、底面４の幅５１よりも大きく、かつトレンチ６の開口部７の幅５２よりも小さい。これにより、ｐ型領域２２の幅が大きくなり過ぎることを抑制することができるので、オン抵抗を低減しつつ、ゲート絶縁膜１５の信頼性を向上することができる。

[0065] （第８変形例）

次に、第８変形例に係る炭化珪素半導体装置１００の構成について説明する。

[0066] 図２１に示されるように、本変形例に係る炭化珪素半導体装置１００は、ジャンクションバリアショットキーダイオード（以下、ＪＢＳと称す）であり、炭化珪素基板１０と、ショットキー電極４２と、フィールド酸化膜３６と、アノード電極３８と、パッシベーション膜３７と、カソード電極４１とを主に有している。炭化珪素基板１０は、たとえばポリタイプ４Ｈの六方晶炭化珪素から構成されている。炭化珪素基板１０は、炭化珪素単結晶基板１１と、炭化珪素エピタキシャル層２４とを含む。炭化珪素エピタキシャル層２４は、第１主面１を構成する。

[0067] 第１主面１は、｛０００１｝面がオフ角だけオフ方向に傾斜した面である。オフ方向は、たとえば[１１－２０]方向である。言い換えれば、炭化珪素エピタキシャル層２４のステップフロー方向が、[１１－２０]方向である。オフ角は、たとえば４°である。炭化珪素単結晶基板１１は、第２主面２を構成する。炭化珪素単結晶基板１１は、第１ｐ型領域２２と、第１ｎ型領域３１とを有する。第１ｐ型領域２２は、たとえばアルミニウムなどのｐ型不純物を含み、ｐ型の導電型を有する。第１ｐ型領域２２のｐ型不純物の濃度は、$１\times１０^{19}ｃｍ^{-3}$を超え、$１\times１０^{21}ｃｍ^{-3}$以下である。第１ｐ型領域２２は、たとえばイオン注入により形成される。第１ｐ型領域２２は、炭化珪素

エピタキシャル層２４に接している。第１ｐ型領域２２は、第２主面２から離間している。第１ｎ型領域３１は、たとえば窒素などのｎ型不純物を含んでおり、ｎ型の導電型を有する。

[0068] 炭化珪素基板１０は、第２ｐ型領域３２と、第３ｐ型領域３３と、第４ｐ型領域３４と、第５ｐ型領域３５と、第２ｎ型領域３９とを有する。第２ｐ型領域３２と、第３ｐ型領域３３と、第４ｐ型領域３４と、第５ｐ型領域３５とは、たとえばアルミニウムなどのｐ型不純物を含み、ｐ型の導電型を有する。第２ｎ型領域３９は、たとえば窒素などのｎ型不純物を含んでおり、ｎ型の導電型を有する。第２ｐ型領域３２が含むｐ型不純物の濃度は、第３ｐ型領域３３が含むｐ型不純物の濃度とほぼ同じである。第４ｐ型領域３４が含むｐ型不純物の濃度は、第５ｐ型領域３５が含むｐ型不純物の濃度とほぼ同じである。第３ｐ型領域３３が含むｐ型不純物の濃度は、第４ｐ型領域３４が含むｐ型不純物の濃度よりも高くてもよい。

[0069] 第２ｐ型領域３２は、第１主面１においてショットキー電極４２と接している。第２ｐ型領域３２の側面および底面は、第２ｎ型領域３９と接している。第３ｐ型領域３３は、第１主面１においてショットキー電極４２と接している。第３ｐ型領域３３の側面および底面は、第４ｐ型領域３４と接している。第４ｐ型領域３４は、第１主面１においてショットキー電極４２およびフィールド酸化膜３６に接している。第４ｐ型領域３４の側面および底面は、第２ｎ型領域３９と接している。第５ｐ型領域３５は、第１主面１においてフィールド酸化膜３６に接している。第５ｐ型領域３５の側面および底面は、第２ｎ型領域３９と接している。

[0070] 図２１に示されるように、第１ｐ型領域２２は、炭化珪素単結晶基板１１中を伸展する基底面転位２９が炭化珪素エピタキシャル層２４に引き継がれることを抑制可能に構成されている。具体的には、第１ｐ型領域２２は、炭化珪素エピタキシャル層２４の第２ｐ型領域３２に基底面転位２９が伝搬しないように、炭化珪素単結晶基板１１中に配置されている。基底面転位２９は、たとえば＜１１－２０＞方向に伝播する。つまり、第１ｐ型領域２２と

、第２ｐ型領域３２とは、[１１－２０]方向に平行な直線上に配置されている。

[0071] 第１ｐ型領域２２の幅６１は、たとえば２μｍ以上３μｍ以下である。第１ｐ型領域２２の厚み６２は、たとえば０．７μｍ以上１．３μｍ以下である。炭化珪素単結晶基板１１の厚み６８は、たとえば２００μｍである。第２ｐ型領域３２の幅６３は、たとえば２μｍである。隣り合う２つの第２ｐ型領域３２の間隔６４は、たとえば４μｍである。第２ｐ型領域３２の厚みは、たとえば０．８μｍである。炭化珪素エピタキシャル層２４の厚み６７は、たとえば１０μｍ以上３０μｍ以下である。

[0072] ショットキー電極４２は、第１主面１上に設けられている。ショットキー電極４２は、たとえばチタン（Ｔｉ）と窒化チタン（ＴｉＮ）との積層膜である。チタンの厚みは、たとえば０．１μｍである。窒化チタンの厚みは、たとえば０．１５μｍである。ショットキー電極４２は、フィールド酸化膜３６の一部に乗り上げている。フィールド酸化膜３６の厚みは、たとえば１μｍである。パッシベーション膜３７は、アノード電極３８およびフィールド酸化膜３６上に設けられている。アノード電極３８は、たとえばＡｌＳｉＣｕにより構成されている。カソード電極４１は、第２主面２において炭化珪素単結晶基板１１と接している。

[0073] 図２２に示されるように、第１主面１に対して垂直な方向から見て、第１ｐ型領域２２および第２ｐ型領域３２の伸長方向（長手方向）は、たとえば[１１－２０]方向に対して垂直な[１－１００]方向である。第１主面１に対して垂直な方向から見て、[１１－２０]方向における第１ｐ型領域２２の幅は、[１１－２０]方向に対して垂直な[１－１００]方向における第１ｐ型領域２２の幅よりも小さい。第１主面１に対して垂直な方向から見て、第１ｐ型領域２２は、第２ｐ型領域３２に対して［１１－２０］方向にシフトしている。第１主面１に対して垂直な方向から見て、第１ｐ型領域２２は、第２ｐ型領域３２と一部重なっていてもよいし、全く重ならなくてもよい。

[0074] （第９変形例）

次に、第９変形例に係る炭化珪素半導体装置１００の構成について説明する。第９変形例に係るＪＢＳ１００の構成は、以下で説明する構成において、第８変形例に係るＪＢＳの構成と異なっており、その他の構成については第８変形例に係るＪＢＳの構成とほぼ同じである。

[0075] 図２３に示されるように、基底面転位２９は、第１主面１に対して平行な方向から見て、第１主面１に対してほぼ垂直な方向に伸展している。第１ｐ型領域２２は、第２主面２から第２ｐ型領域３２に向かう基底面転位２９の伝播を阻止するように、第２ｐ型領域３２と対面するように炭化珪素単結晶基板１１中に配置されている。第１ｐ型領域２２と、第２ｐ型領域３２とは、第１主面１に対して垂直な直線上に配置されている。

[0076] 図２４に示されるように、第１主面１に対して垂直な方向から見て、第１ｐ型領域２２および第２ｐ型領域３２の伸長方向（長手方向）は、たとえば[１－１００]方向である。第１主面１に対して垂直な方向から見て、[１１－２０]方向における第１ｐ型領域２２の幅は、[１１－２０]方向に対して垂直な[１－１００]方向における第１ｐ型領域２２の幅よりも大きい。第１主面１に対して垂直な方向から見て、第１ｐ型領域２２は、第２ｐ型領域３２とほぼ完全に重なっている。

[0077] （評価）

（サンプル準備）

まず、サンプル１～６に係る炭化珪素基板１０が準備された。サンプル１～５に係る炭化珪素基板１０は、炭化珪素単結晶基板１１と、第１不純物領域２１と、ｐ型領域２２と、第３不純物領域２３とを有する。第１不純物領域２１は、炭化珪素単結晶基板１１上にあり、ｎ型の導電型を有する。第１不純物領域２１の厚みは、９μｍである。ｐ型領域２２は、第１不純物領域２１上にある。ｐ型領域２２の厚みは、０．７μｍである。第３不純物領域２３は、ｐ型領域２２上にある。第３不純物領域２３の厚みは、３μｍである。サンプル１、２、３、４、５および６に係るｐ型領域２２のアルミニウム原子の濃度（不純物濃度）は、それぞれ、１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$未満、１×１０^{16}

cm^{-3}以上$1\times10^{17}cm^{-3}$未満、$1\times10^{17}cm^{-3}$以上$1\times10^{18}cm^{-3}$未満、$1\times10^{18}cm^{-3}$以上$1\times10^{19}cm^{-3}$未満、$1\times10^{19}cm^{-3}$以上$1\times10^{20}cm^{-3}$未満および$1\times10^{20}cm^{-3}$以上である。ｐ型領域２２のアルミニウム原子の濃度は、イオン注入におけるドーズ量を制御することにより調整した。

[0078] サンプル２および４～６に係る炭化珪素基板１０は、図２５に示す構造を有している。つまり、ｐ型領域２２は、第１不純物領域２１の表面の全面に設けられている。サンプル１および３に係る炭化珪素基板１０は、図２６に示す構造を有している。つまり、ｐ型領域２２は、第１不純物領域２１の表面のある部分には設けられているが、他の部分には設けられていない。ｐ型領域２２の幅は、６～７μｍ程度である。ｐ型領域２２のピッチは、１０μｍ程度である。

[0079] （欠陥密度の測定方法）

共焦点微分干渉顕微鏡を用いて各サンプルに係る炭化珪素基板１０の欠陥密度が測定された。共焦点微分干渉顕微鏡として、レーザーテック株式会社製のＷＡＳＡＶＩシリーズＳＩＣＡが使用された。開口部の幅が２μｍ以上であって、かつ深さが１０ｎｍ以上であるピットが欠陥としてカウントされた。観察領域を、１ｍｍ×１ｍｍとした。観察領域における欠陥の数を測定領域の面積で除することにより、欠陥密度が求められた。

[0080] （欠陥密度の測定結果）

サンプル１に係る炭化珪素基板１０の第１主面１において撮影された領域には、欠陥が全くないか、もしくはあったとしても非常に浅くて観測できない程度である。図２７は、サンプル３に係る炭化珪素基板１０のｐ型領域２２に対面する第１主面１の部分において撮影された画像を示している。図２７に示されるように、撮影された領域には、欠陥３０が低密度で存在している。撮影領域において測定された欠陥３０の数は、６個である。欠陥３０の密度は、約６００個／cm^2である。図２８は、サンプル１に係る炭化珪素基板１０の第３不純物領域２３がない状態におけるｐ型領域２２の表面において撮影された画像である。図２８に示されるように、撮影された領域には、

欠陥３０が高密度で存在している。撮影領域において測定された欠陥３０の数は、４４個である。欠陥３０の密度は、約４４００個／ｃｍ^{2}である。

[0081] 表１は、不純物濃度（アルミニウム原子の濃度）と、欠陥密度との関係を示している。表１において、「Ａ」、「Ｂ」、「Ｃ」および「Ｄ」は、それぞれ、欠陥密度が極めて低い（具体的には、５個／ｃｍ^{2}以下）、欠陥密度が低い、欠陥密度が中程度、欠陥密度が高いことを示している。

[0082] [表1]

サンプル	不純物濃度(cm^{-3})	欠陥密度(個/cm^2)
1	1×10^{16}未満	D
2	1×10^{16}以上1×10^{17}未満	C
3	1×10^{17}以上1×10^{18}未満	B
4	1×10^{18}以上1×10^{19}未満	B
5	1×10^{19}以上1×10^{20}未満	A
6	1×10^{20}以上	A

[0083] 表１に示されるように、ｐ型領域２２の不純物濃度を高くすることにより、欠陥密度が低くなる。具体的には、ｐ型領域２２の不純物濃度を１×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$以上とすることにより、炭化珪素基板１０の第１主面１における欠陥密度を極めて低くすることができることが確認された。

[0084] 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

[0085] １　主面（第１主面、表面）、２　第２主面、３　側面、４　底面、５，２６　外縁、６　トレンチ、７　開口部、８　表面、９　貫通らせん転位、１０　炭化珪素基板、１１　炭化珪素単結晶基板、１２　ドリフト領域、１３　ボディ領域（ｐ型層）、１４　ソース領域、１５　ゲート絶縁膜、１６　ソース電極、１７　マスク、１８　コンタクト領域、１９　ソース配線、２

０　ドレイン電極、２１　第１不純物領域、２２　ｐ型領域（第２不純物領域、第１ｐ型領域）、２３　第３不純物領域、２４　炭化珪素エピタキシャル層、２５　層間絶縁膜、２７　ゲート電極、２９　基底面転位、３０　欠陥、３１　第１ｎ型領域、３２　第２ｐ型領域、３３　第３ｐ型領域、３４　第４ｐ型領域、３５　第５ｐ型領域、３６　フィールド酸化膜、３７　パッシベーション膜、３８　アノード電極、３９　第２ｎ型領域、４１　カソード電極、４２　ショットキー電極、５０　短手方向、６０　長手方向、１００　ＭＯＳＦＥＴ（炭化珪素半導体装置）。

請求の範囲

[請求項1] 主面を有する炭化珪素基板と、

前記炭化珪素基板上にあるゲート絶縁膜とを備え、

前記炭化珪素基板は、

ｎ型を有する第１不純物領域と、

前記第１不純物領域に接し、かつｐ型を有する第２不純物領域と、

前記第１不純物領域および前記第２不純物領域上にあり、前記第１不純物領域よりも高い不純物濃度を有し、かつｎ型を有する第３不純物領域と、

前記第３不純物領域上にあり、かつｐ型を有するボディ領域と、

前記ボディ領域上にあり、前記ボディ領域によって前記第３不純物領域から隔てられており、かつｎ型を有するソース領域とを含み、

前記主面には、側面と、前記側面と連なる底面とにより規定されたトレンチが設けられており、

前記ゲート絶縁膜は、前記側面において、前記ソース領域と、前記ボディ領域と、前記第３不純物領域と接し、かつ前記底面において、前記第３不純物領域と接しており、

前記主面に対して垂直な方向から見て、

前記第２不純物領域は、前記底面を包含しており、かつ前記第２不純物領域の面積は、前記底面の面積より大きく、前記底面の面積の３倍以下であり、

前記第２不純物領域の不純物濃度は、$1\times10^{19}cm^{-3}$を超え、$1\times10^{21}cm^{-3}$以下である、炭化珪素半導体装置。

[請求項2] 前記主面に対して垂直な方向から見て、

前記第２不純物領域の外縁は、前記底面の全周囲において、前記底面の外縁から離間している、請求項１に記載の炭化珪素半導体装置。

[請求項3] 前記主面に対して垂直な方向における前記第２不純物領域の厚みは

、０．７μｍ以上である、請求項１または請求項２に記載の炭化珪素半導体装置。

[請求項4] 前記主面に対して平行な方向において、前記トレンチの開口部の幅は、前記底面の幅よりも大きく、かつ前記第２不純物領域の幅よりも小さい、請求項１～請求項３のいずれか１項に記載の炭化珪素半導体装置。

[請求項5] 前記主面に対して平行な方向において、前記第２不純物領域の幅は、前記底面の幅よりも大きく、かつ前記トレンチの開口部の幅よりも小さい、請求項１～請求項３のいずれか１項に記載の炭化珪素半導体装置。

[請求項6] 主面を有する炭化珪素基板と、

前記炭化珪素基板上にあるゲート絶縁膜とを備え、

前記炭化珪素基板は、

ｎ型を有する第１不純物領域と、

前記第１不純物領域に接し、かつｐ型を有する第２不純物領域と、

前記第１不純物領域および前記第２不純物領域上にあり、前記第１不純物領域よりも高い不純物濃度を有し、かつｎ型を有する第３不純物領域と、

前記第３不純物領域上にあり、かつｐ型を有するボディ領域と、

前記ボディ領域上にあり、前記ボディ領域によって前記第３不純物領域から隔てられており、かつｎ型を有するソース領域とを含み、

前記主面には、側面と、前記側面と連なる底面とにより規定されたトレンチが設けられており、

前記ゲート絶縁膜は、前記側面において、前記ソース領域と、前記ボディ領域と、前記第３不純物領域と接し、かつ前記底面において、前記第３不純物領域と接しており、

前記主面に対して垂直な方向から見て、

前記第２不純物領域は、前記底面を包含しており、かつ前記第２不純物領域の面積は、前記底面の面積より大きく、前記底面の面積の３倍以下であり、

前記第２不純物領域の不純物濃度は、１×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$を超え、１×１０^{21}ｃｍ$^{-3}$以下であり、

前記主面に対して垂直な方向から見て、前記第２不純物領域の外縁は、前記底面の全周囲において、前記底面の外縁から離間しており、

前記主面に対して平行な方向において、前記トレンチの開口部の幅は、前記底面の幅よりも大きく、かつ前記第２不純物領域の幅よりも小さい、炭化珪素半導体装置。

[請求項7] 主面を有する炭化珪素基板と、

前記炭化珪素基板上にあるゲート絶縁膜とを備え、

前記炭化珪素基板は、

ｎ型を有する第１不純物領域と、

前記第１不純物領域に接し、かつｐ型を有する第２不純物領域と、

前記第１不純物領域および前記第２不純物領域上にあり、前記第１不純物領域よりも高い不純物濃度を有し、かつｎ型を有する第３不純物領域と、

前記第３不純物領域上にあり、かつｐ型を有するボディ領域と、

前記ボディ領域上にあり、前記ボディ領域によって前記第３不純物領域から隔てられており、かつｎ型を有するソース領域とを含み、

前記主面には、側面と、前記側面と連なる底面とにより規定されたトレンチが設けられており、

前記ゲート絶縁膜は、前記側面において、前記ソース領域と、前記ボディ領域と、前記第３不純物領域と接し、かつ前記底面において、前記第３不純物領域と接しており、

前記主面に対して垂直な方向から見て、

前記第２不純物領域は、前記底面を包含しており、かつ前記第２不純物領域の面積は、前記底面の面積より大きく、前記底面の面積の３倍以下であり、

前記第２不純物領域の不純物濃度は、１×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$を超え、１×１０^{21}ｃｍ$^{-3}$以下であり、

前記主面に対して垂直な方向から見て、前記第２不純物領域の外縁は、前記底面の全周囲において、前記底面の外縁から離間しており、前記主面に対して平行な方向において、前記第２不純物領域の幅は、前記底面の幅よりも大きく、かつ前記トレンチの開口部の幅よりも小さい、炭化珪素半導体装置。

[図1]

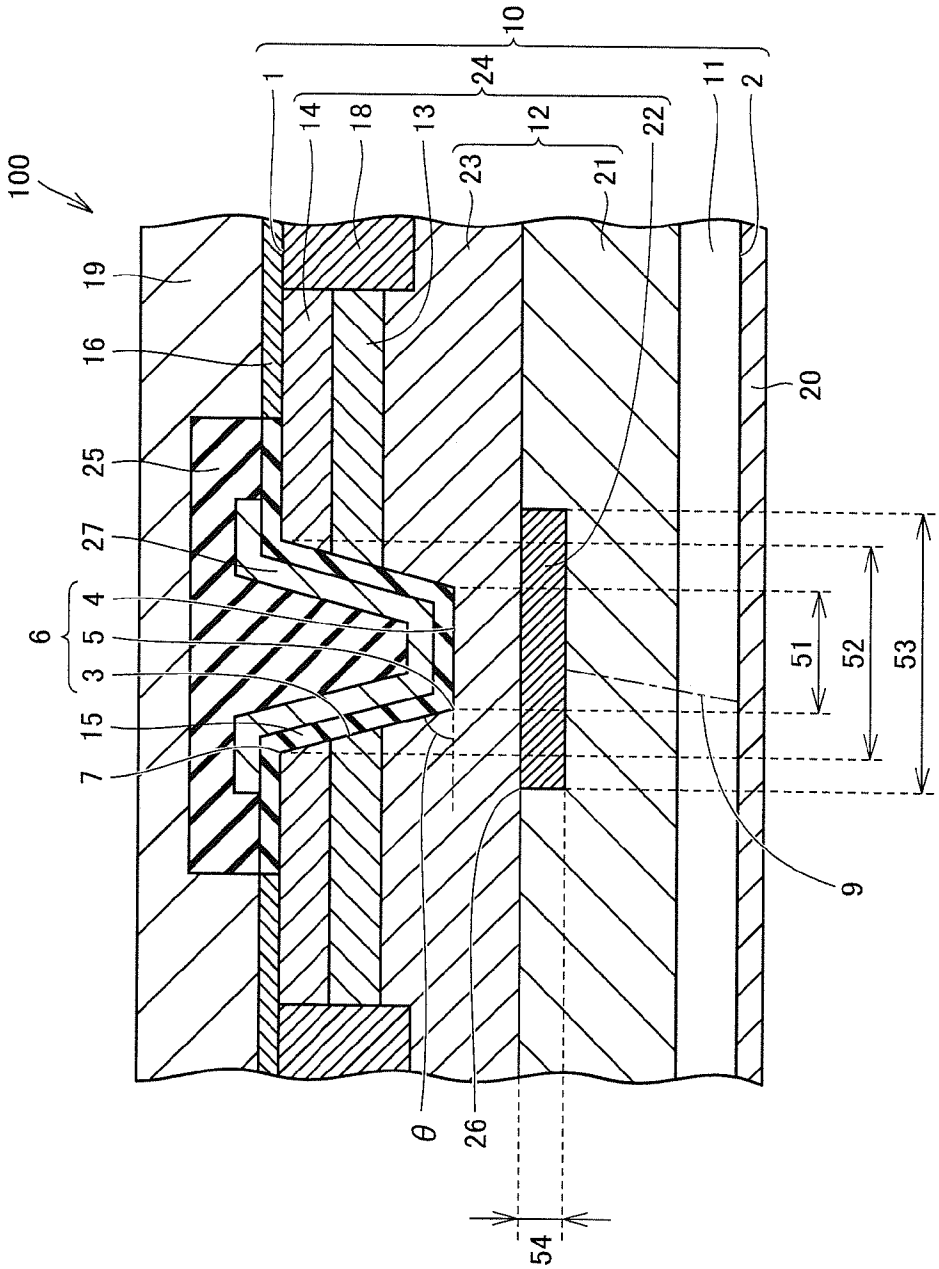
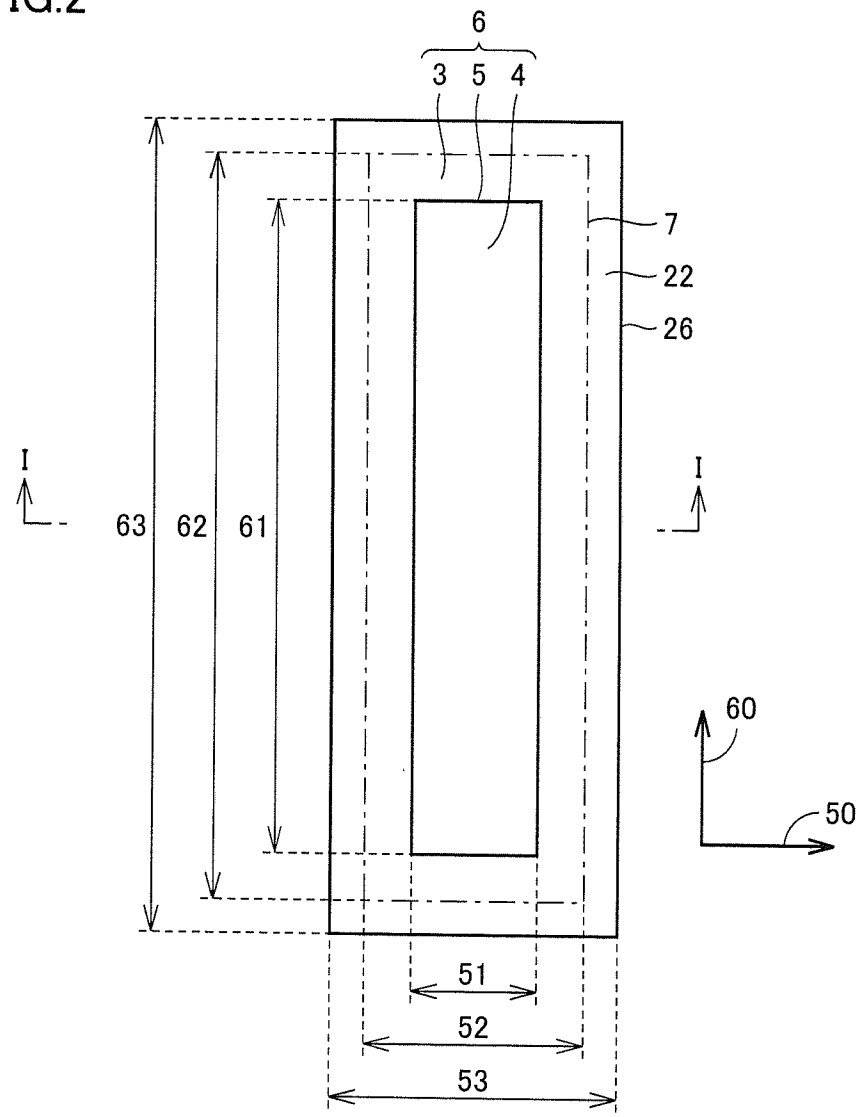

100
10
1
24
14
18
13
12
23
22
21
11
2
19
16
20
25
27
4
5
3
6
15
7
51
52
53
9
θ
26
54

FIG.1

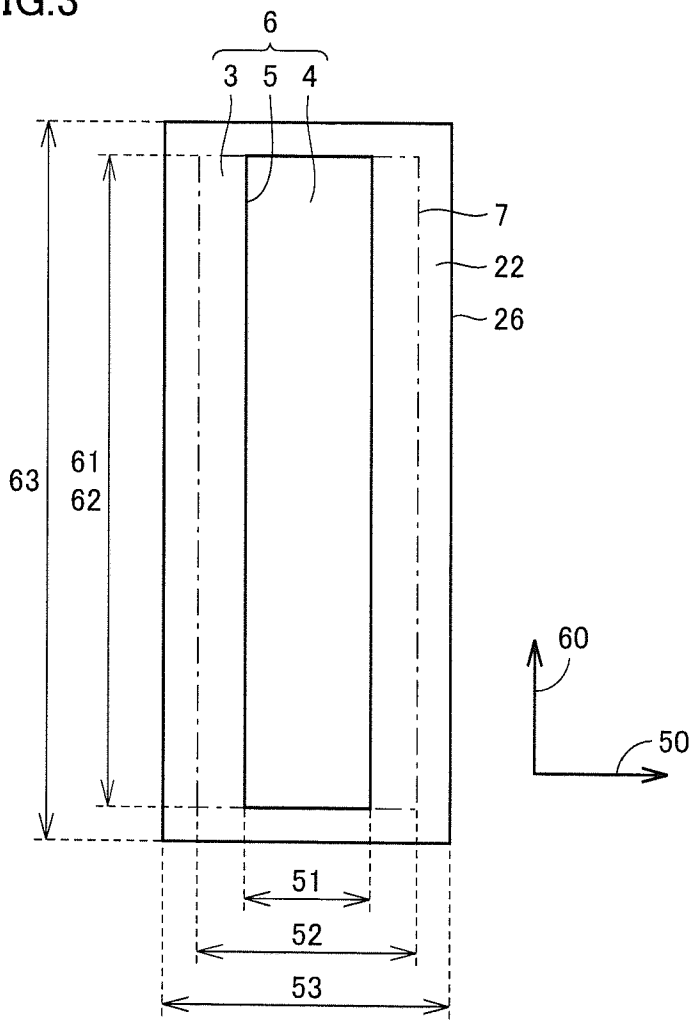
[図2]

FIG.2



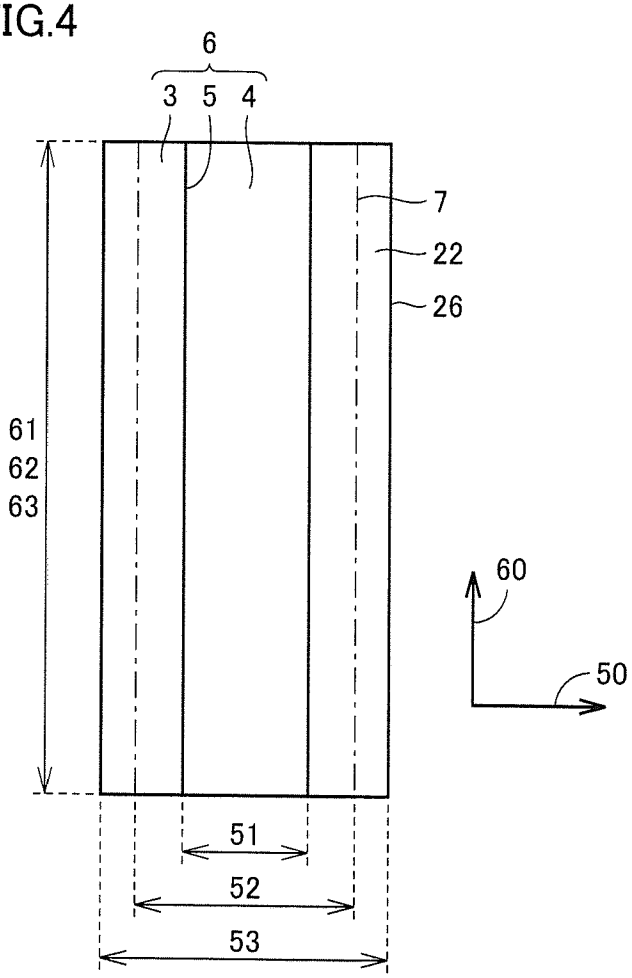
[図3]

FIG.3



[図4]

FIG.4



[図5]

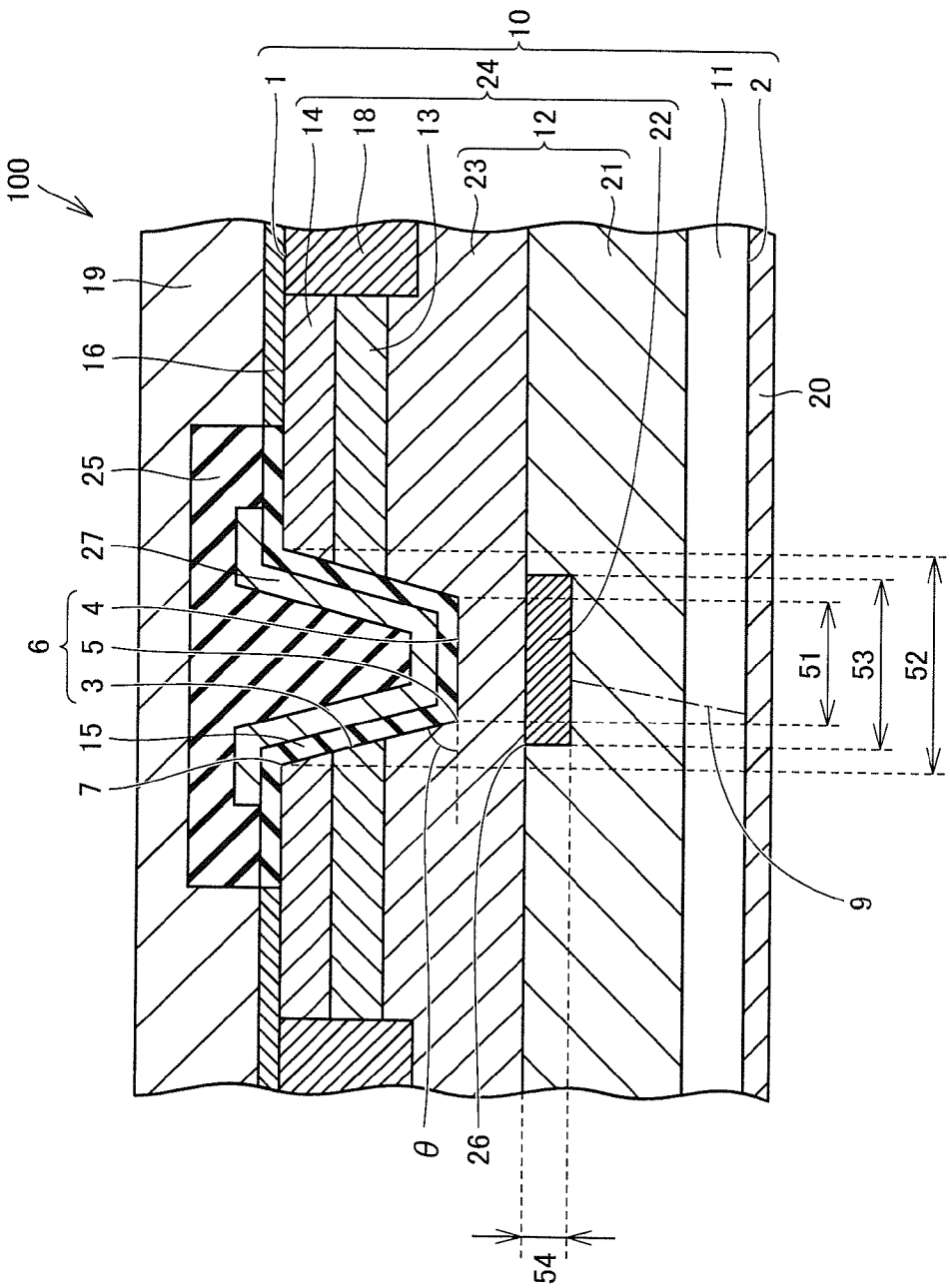
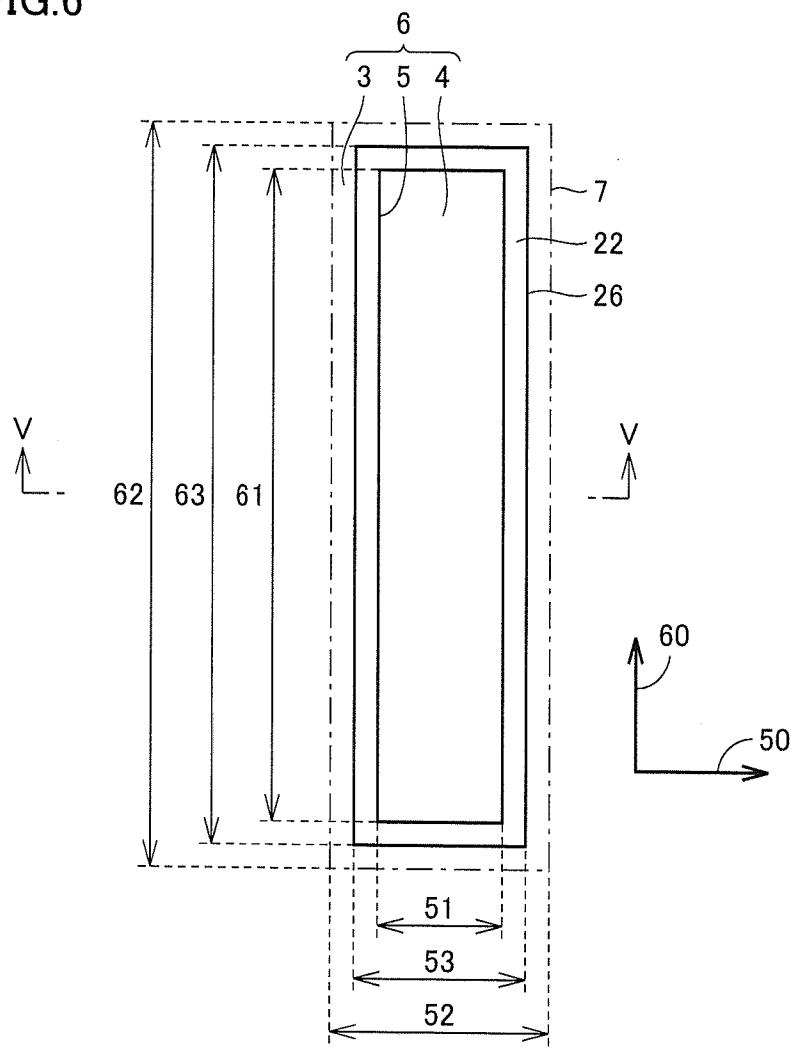

100
10
1
24
14
18
13
12
22
11
2
23
21
19
16
20
25
27
6
4
5
3
15
7
51
53
52
9
θ
26
54

FIG.5

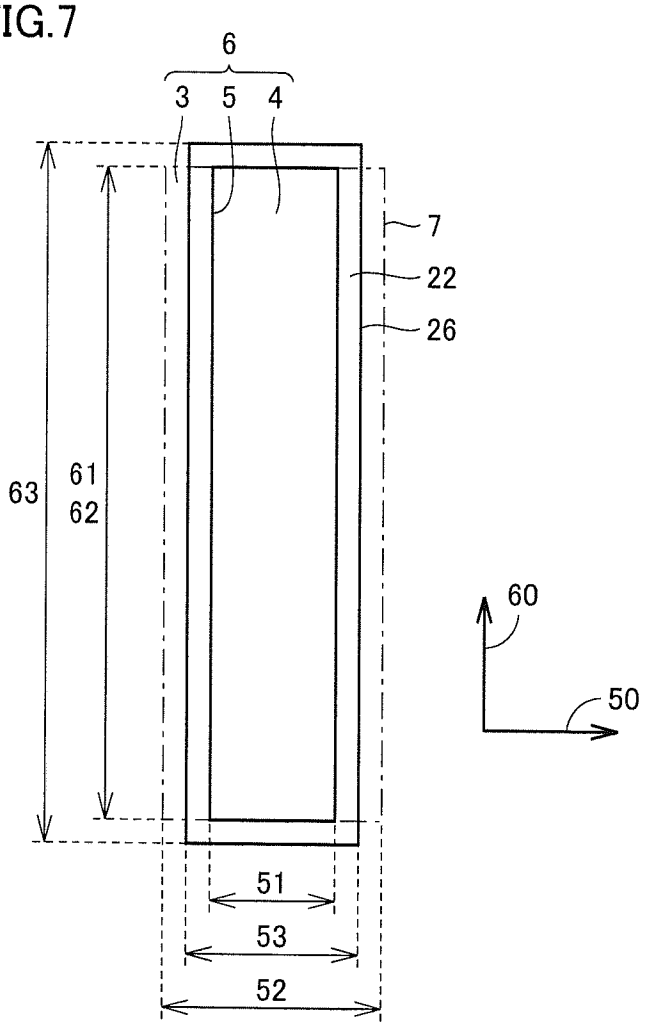
[図6]

FIG.6



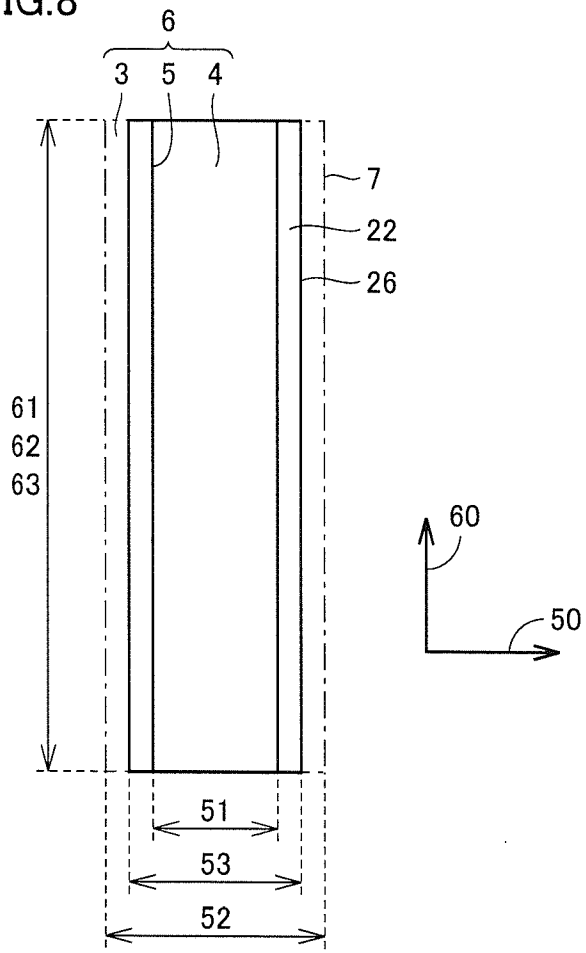
[図7]

FIG.7



[図8]

FIG.8



[図9]

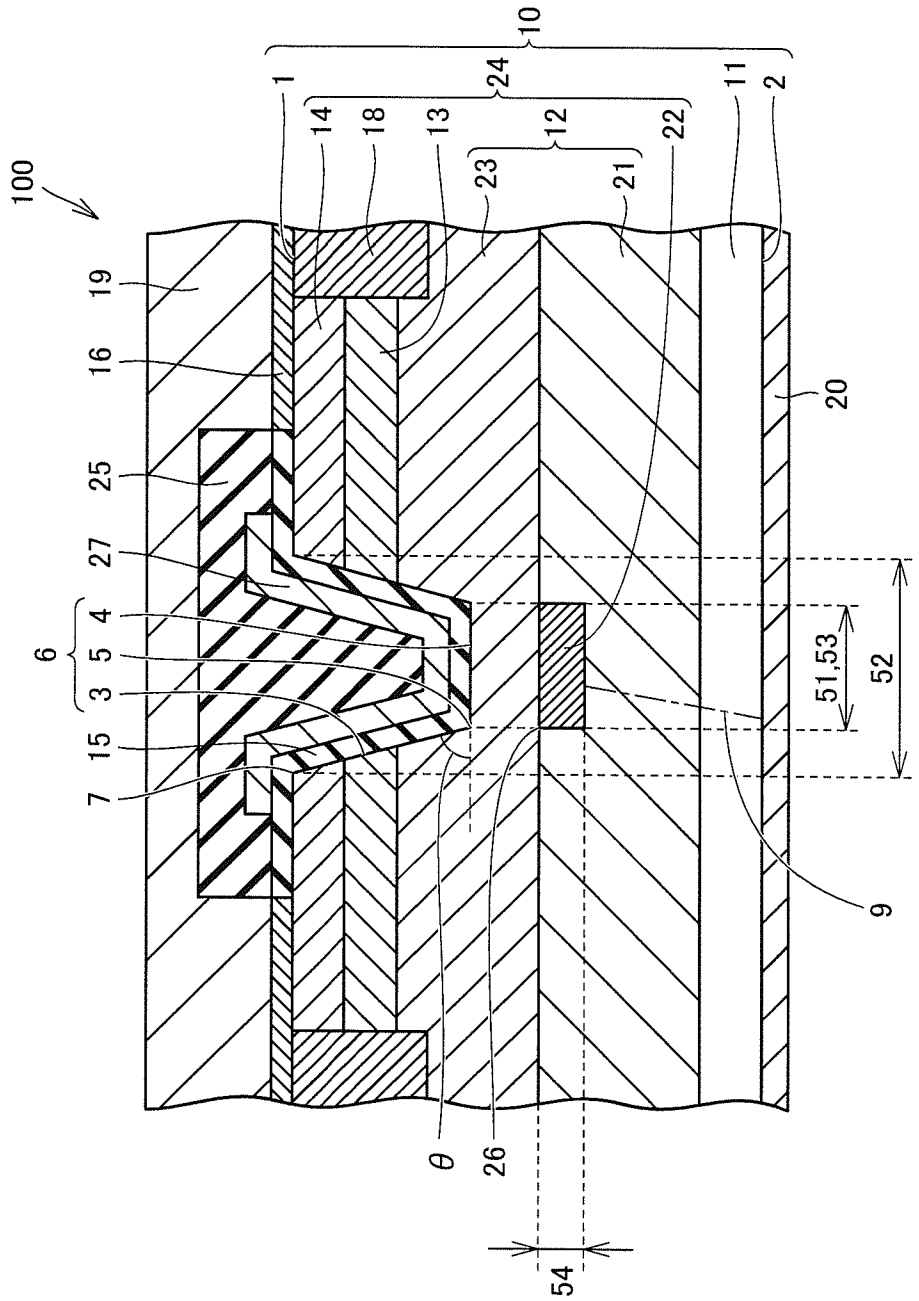
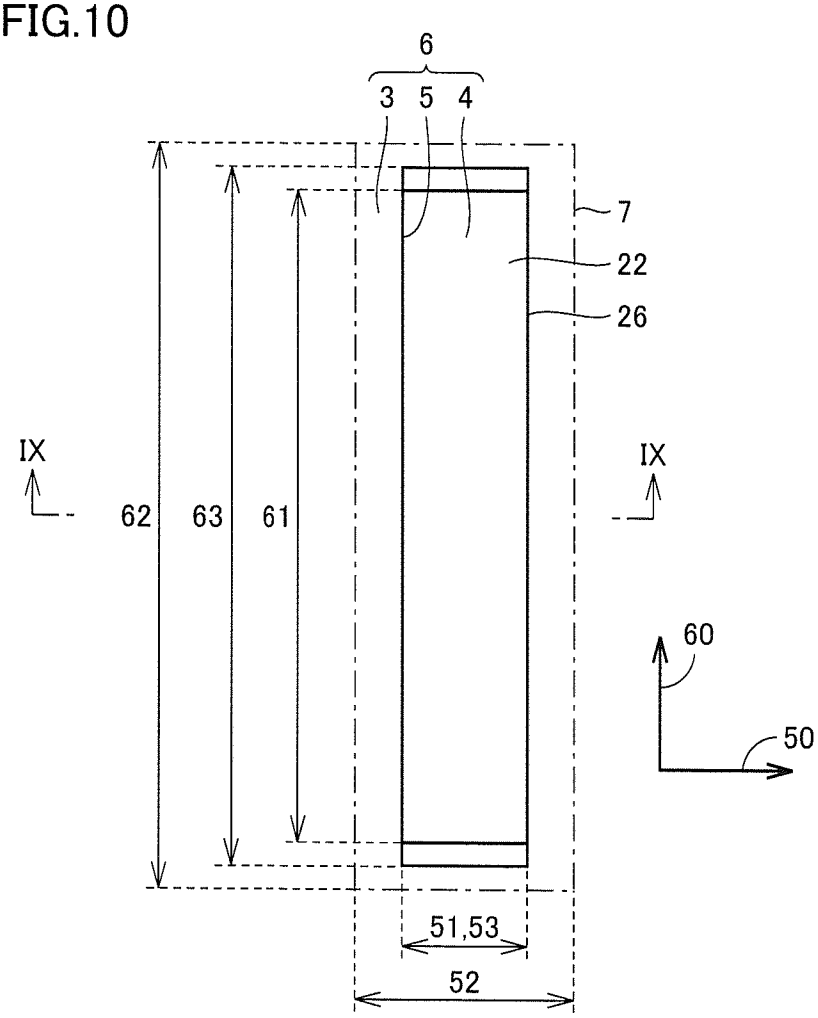

100
10
1
24
11
2
14
18
13
12
22
23
21
19
16
20
25
27
6
4
5
3
15
7
51,53
52
9
θ
26
54

FIG.9

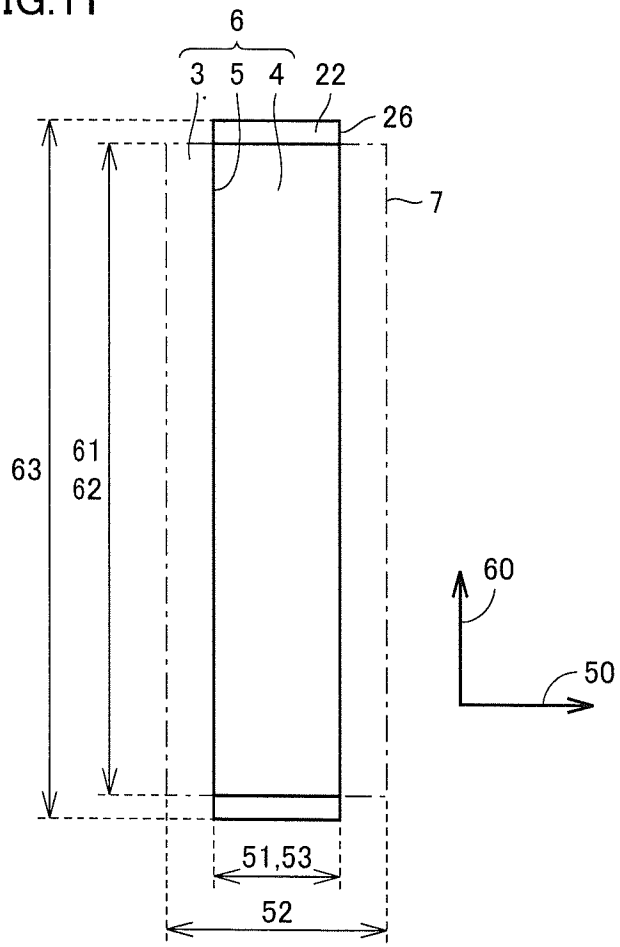
[図10]

FIG.10



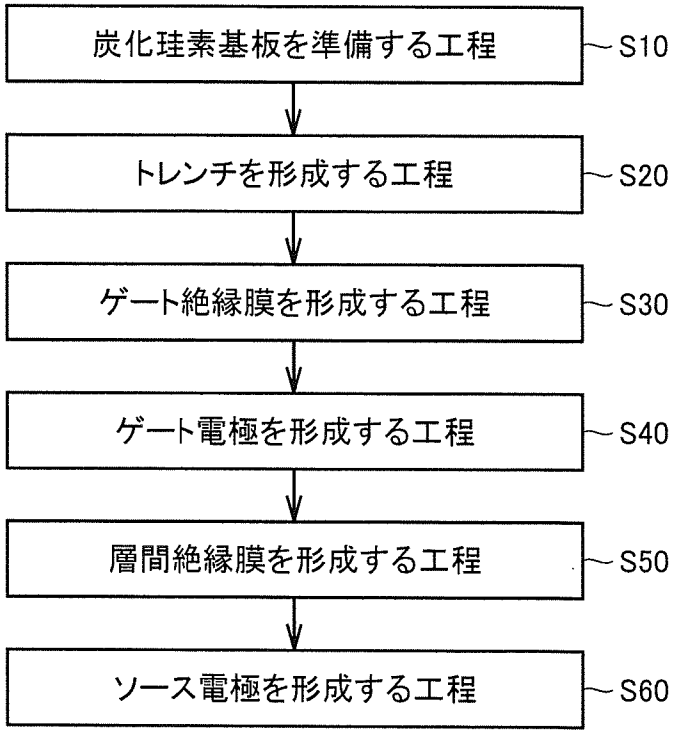
[図11]

FIG.11



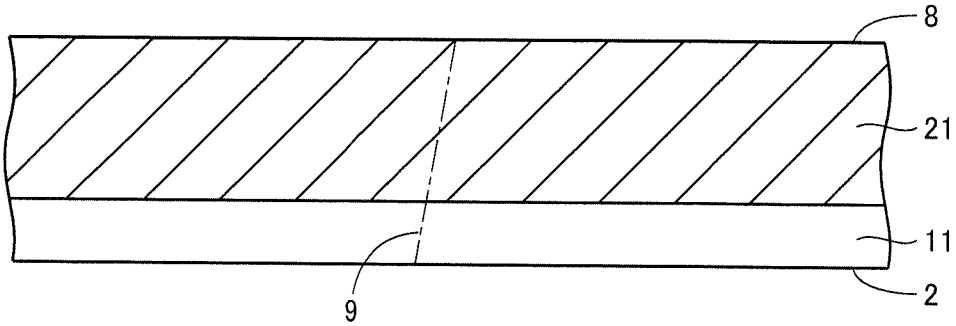
[図12]

FIG.12



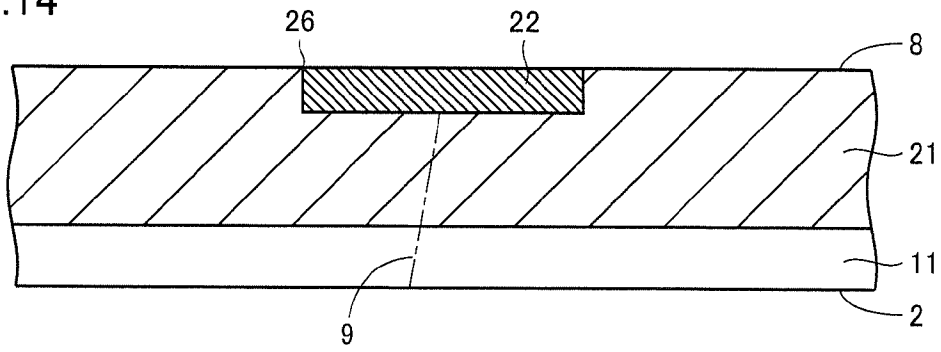
[図13]

FIG.13



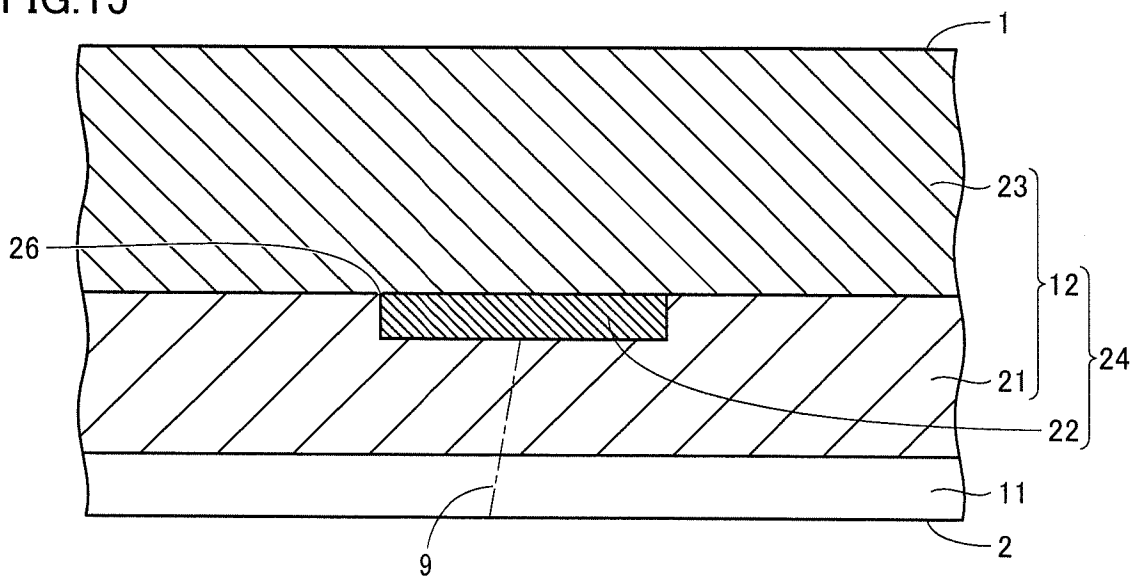
[図14]

FIG.14



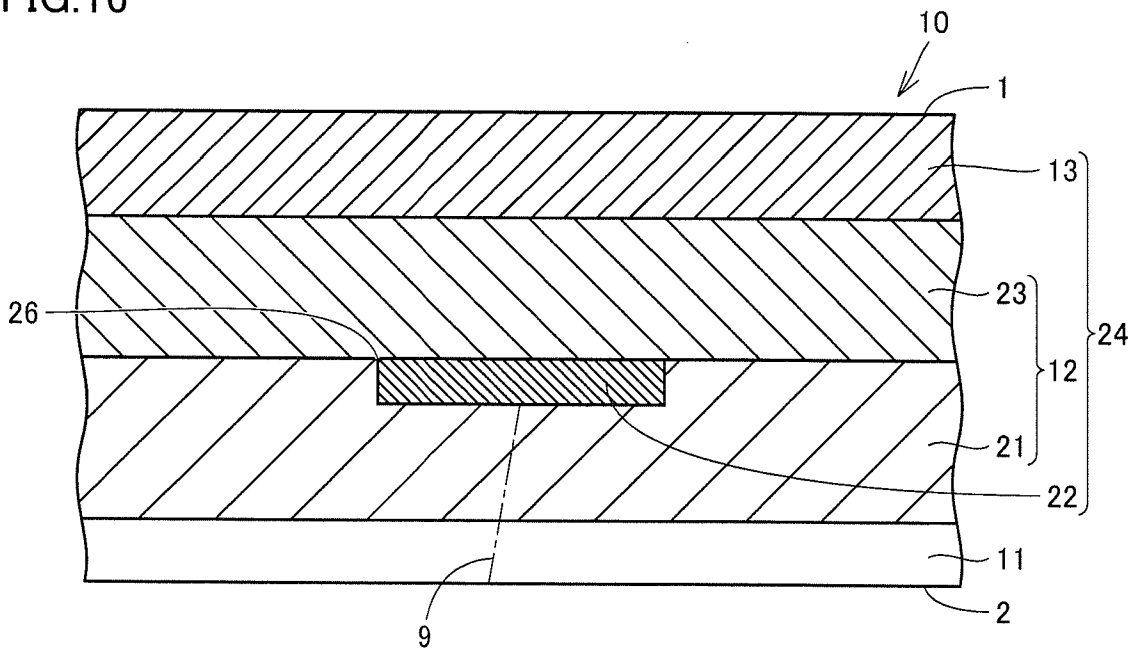
[図15]

FIG.15



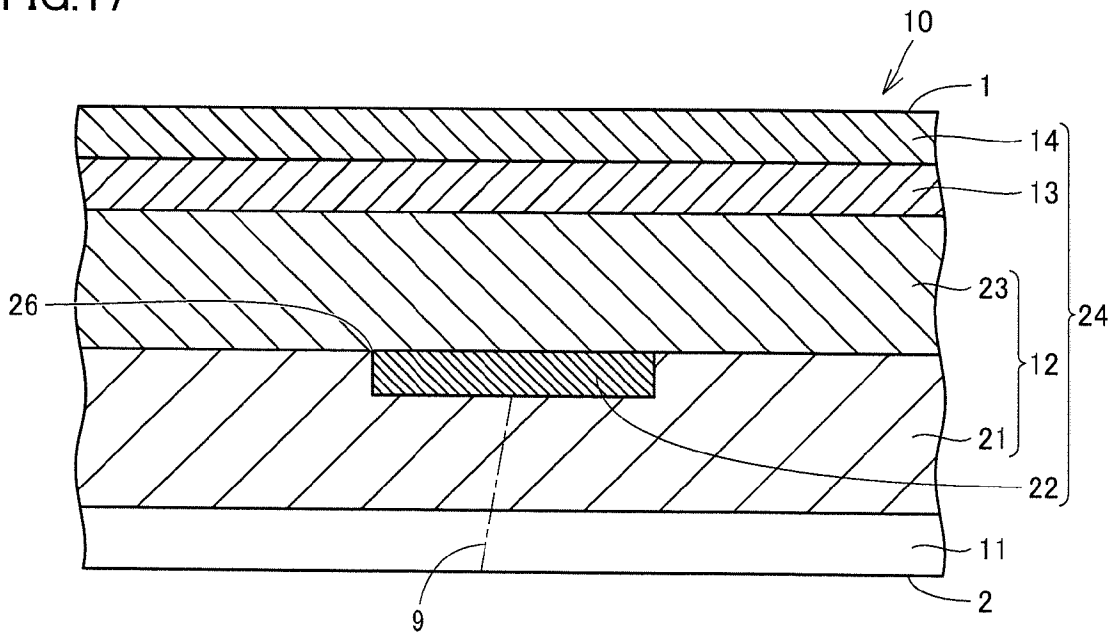
[図16]

FIG.16



[図17]

FIG.17



[図18]

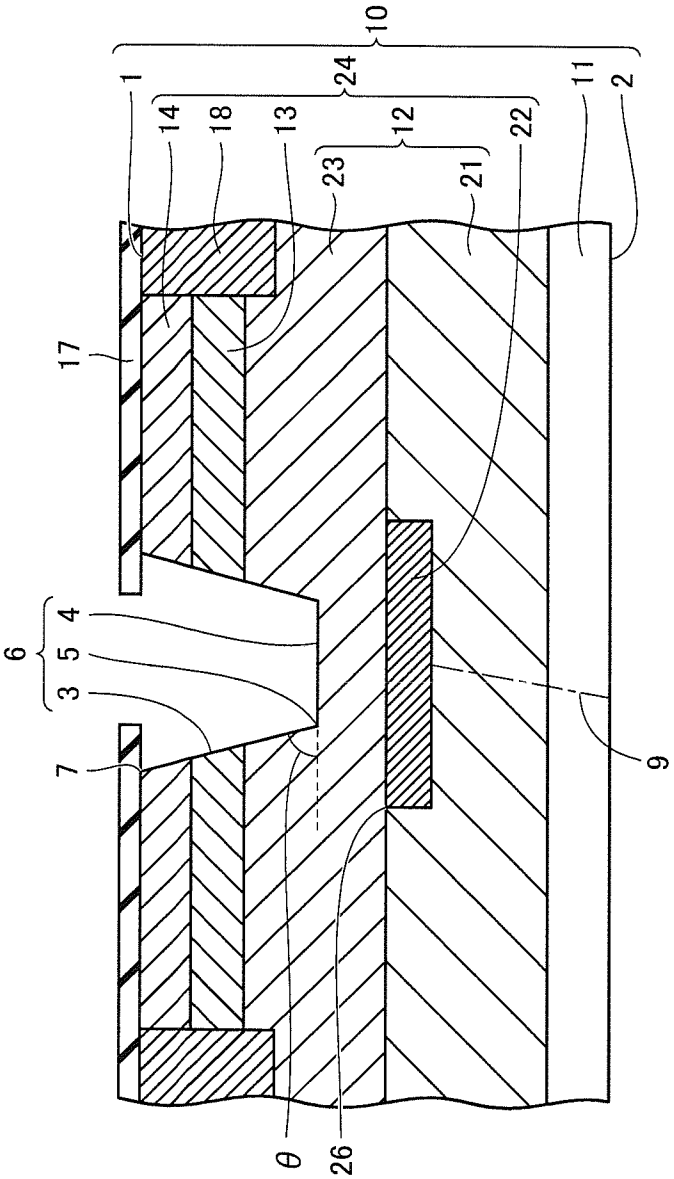


FIG.18

[図19]

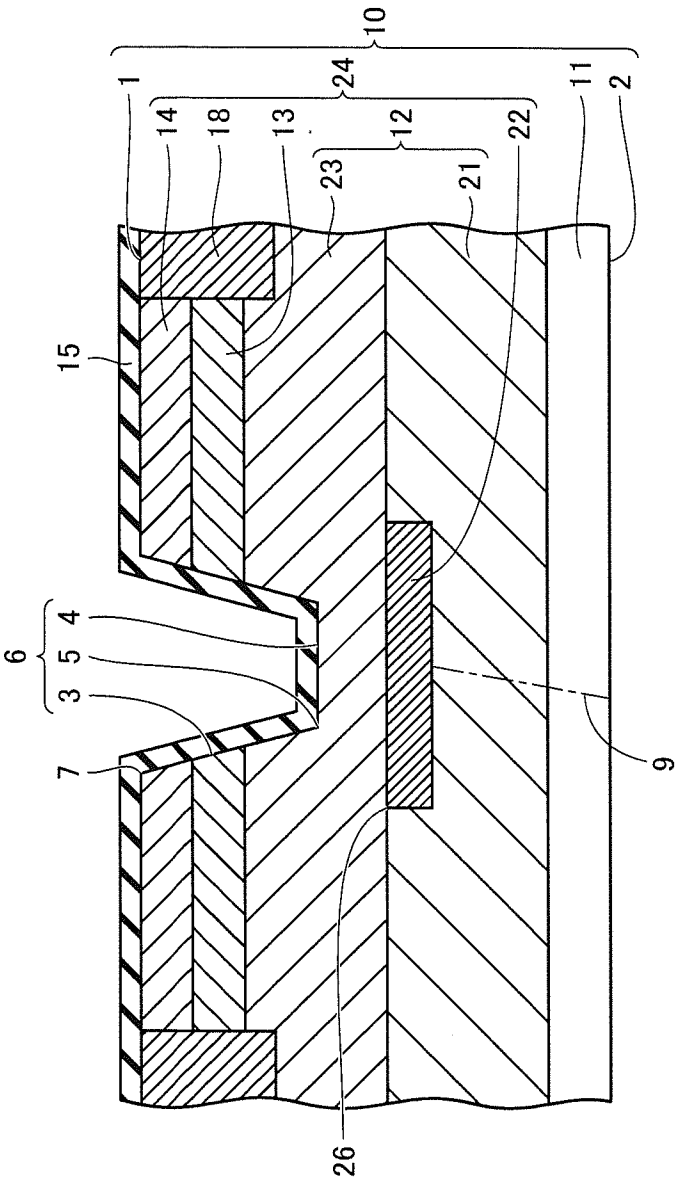


FIG.19

[図20]

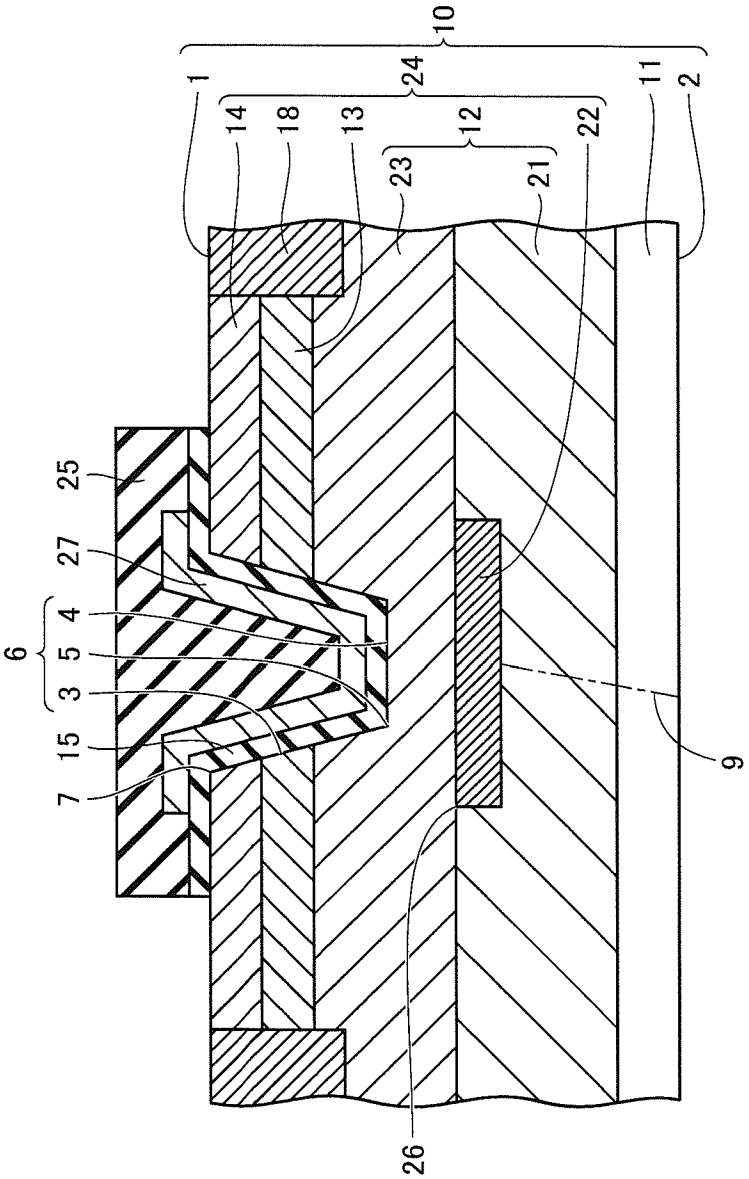


FIG.20

[図21]

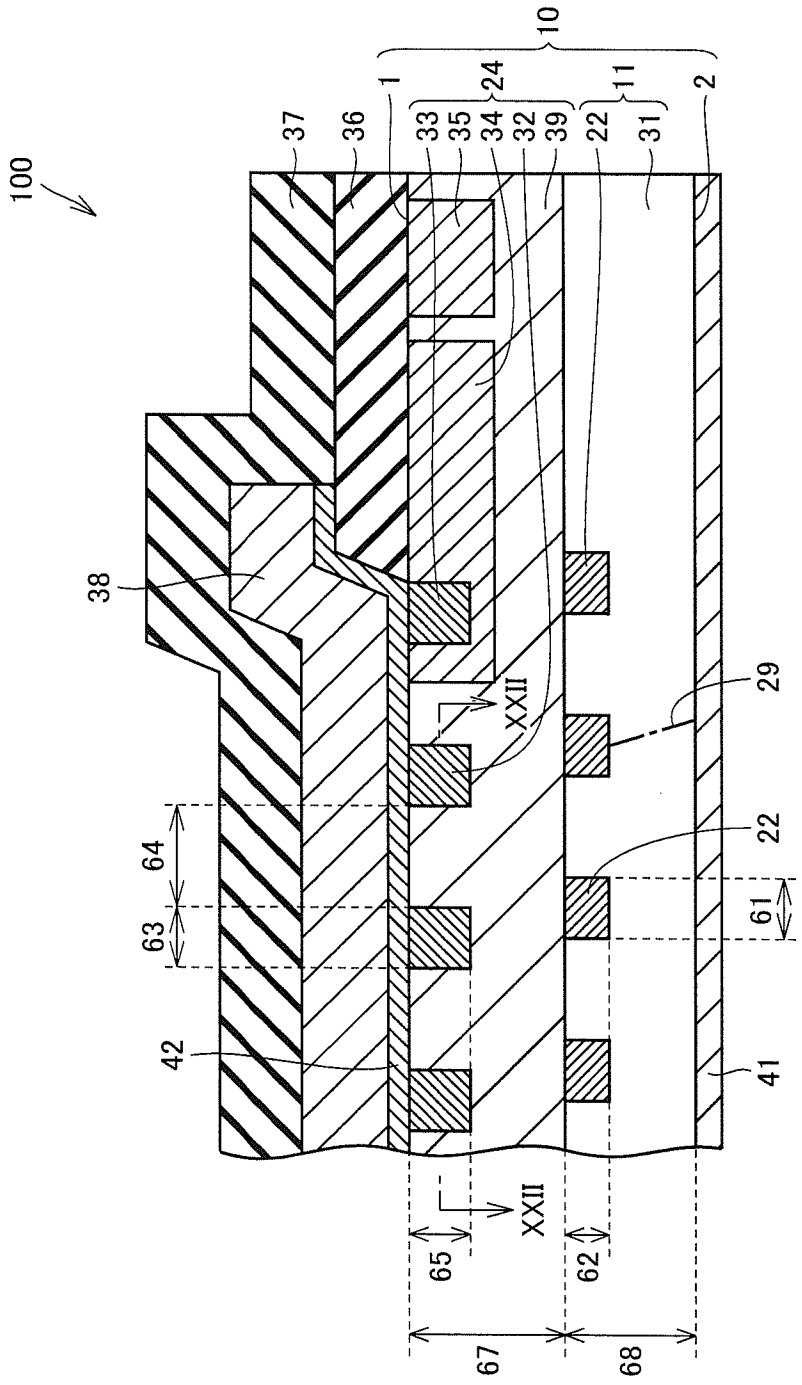
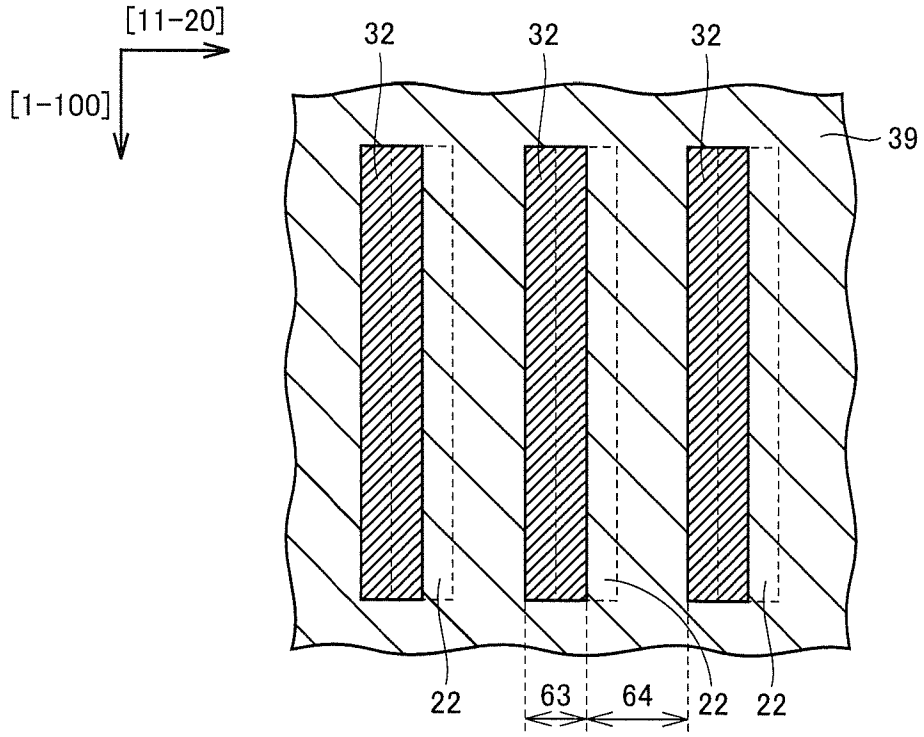

100
10
1
24
11
2
37
36
33
35
34
32
39
22
31
38
XXII
29
64
63
22
61
42
41
XXII
65
62
67
68

FIG.21

[図22]

FIG.22



[図23]

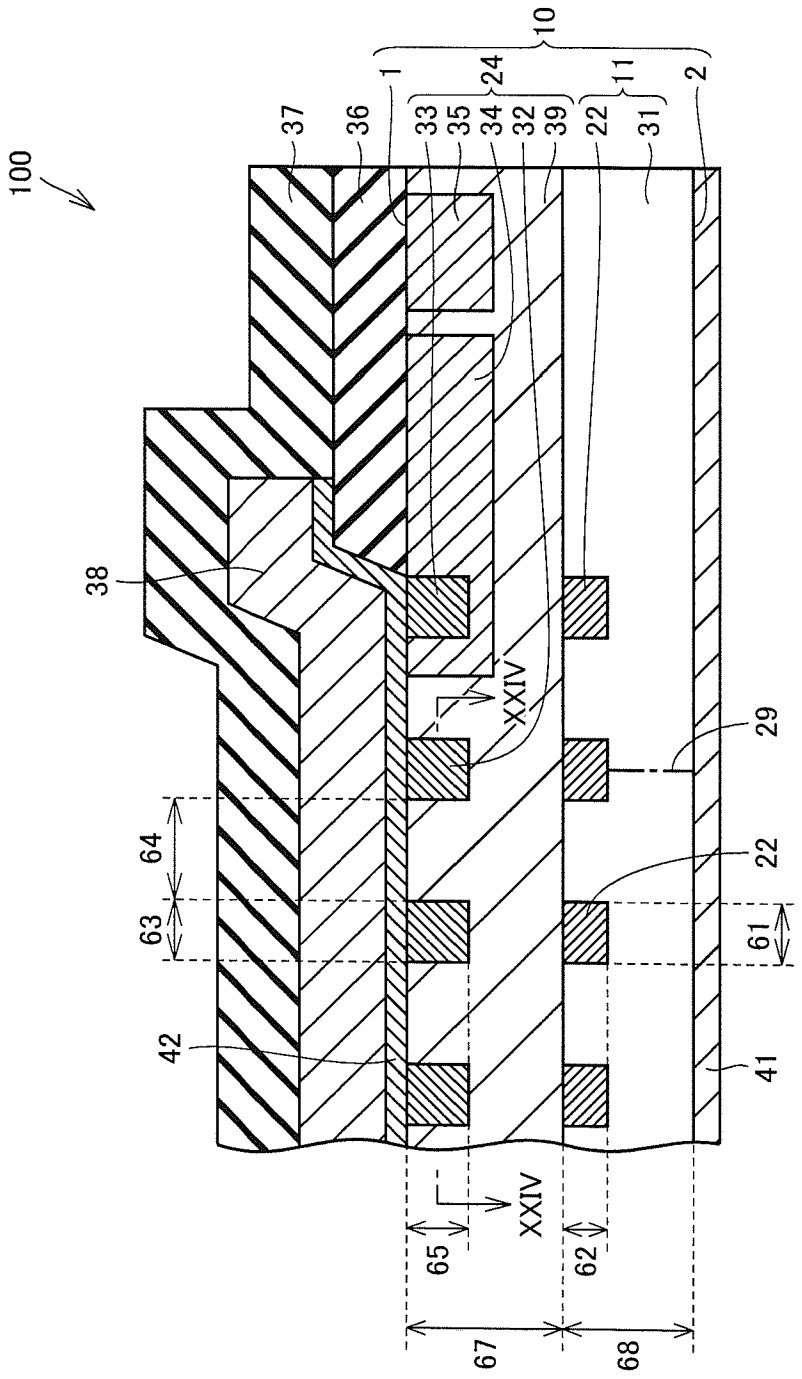
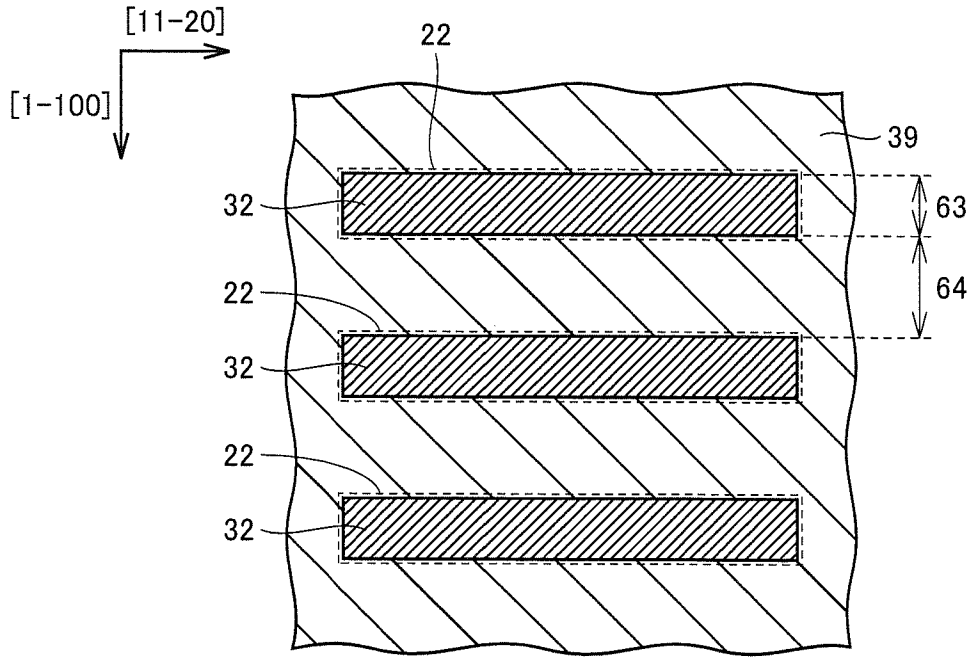

100
10
1
24
11
2
37
36
33
35
34
32
39
22
31
38
XXIV
29
64
63
22
61
42
41
XXIV
65
62
67
68

FIG.23

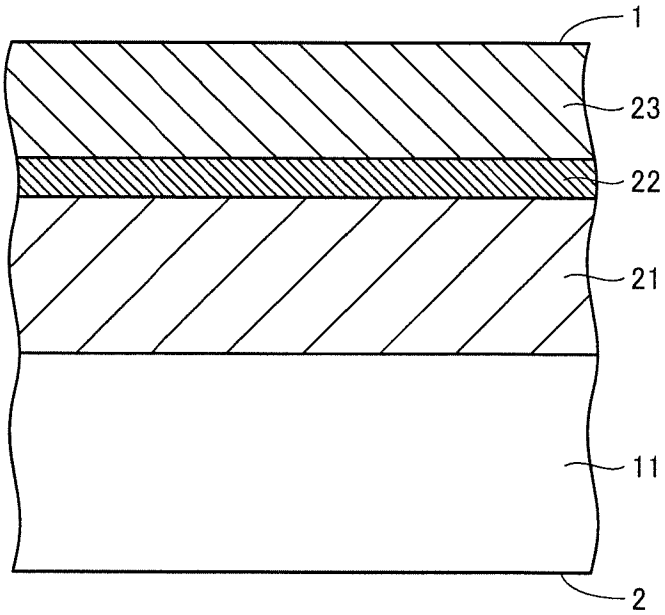
[図24]

FIG.24



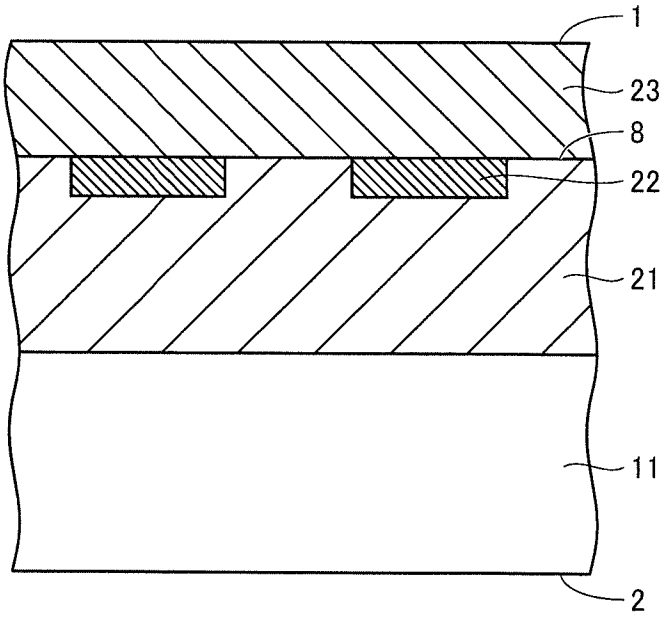
[図25]

FIG.25



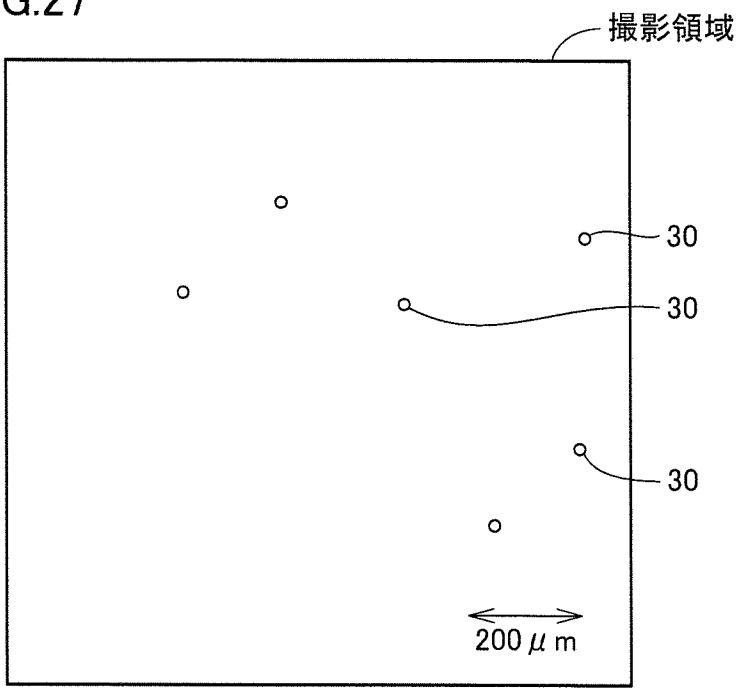
[図26]

FIG.26



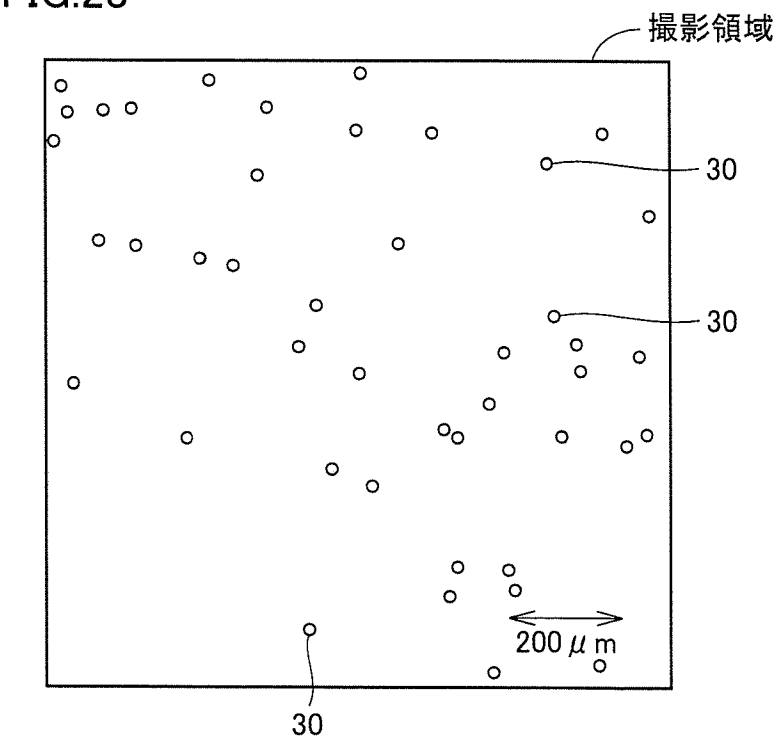
[図27]

FIG.27



[図28]

FIG.28



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/007296

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L29/78(2006.01)i, *H01L29/12*(2006.01)i, *H01L29/47*(2006.01)i, *H01L29/872*(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, H01L29/12, H01L29/47, H01L29/872

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.
A	JP 2014-183274 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 29 September 2014 (29.09.2014), paragraphs [0015] to [0060]; fig. 2 & US 2015/0380485 A1 paragraphs [0041] to [0091]; fig. 2 & WO 2014/148129 A1	1-7
A	WO 2016/002769 A1 (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), 07 January 2016 (07.01.2016), paragraphs [0032] to [0058]; fig. 1 (Family: none)	1-7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
09 May 2017 (09.05.17)	23 May 2017 (23.05.17)

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/JP2017/007296

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-235546 A (Denso Corp.), 02 October 2008 (02.10.2008), paragraphs [0028] to [0052]; fig. 1 & US 2008/0230787 A1 paragraphs [0135] to [0159]; fig. 1	1-7

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１７／００７２９６

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, H01L29/12(2006.01)i, H01L29/47(2006.01)i, H01L29/872(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, H01L29/12, 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	１９７１－２０１７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
Ａ	JP 2014-183274 A（住友電気工業株式会社）2014.09.29, 段落００１５－００６０, 図２ & US 2015/0380485 A1, 段落００４１－００９１, 図２ & WO 2014/148129 A1	１－７
Ａ	WO 2016/002769 A1（国立研究開発法人産業技術総合研究所）2016.01.07, 段落００３２－００５８, 図１（ファミリーなし）	１－７

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的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
０９．０５．２０１７	２３．０５．２０１７

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　７８９５
棚田　一也
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
Ａ	JP 2008-235546 A（株式会社デンソー）2008.10.02，段落００２８－００５２，図１ &US 2008/0230787 A1，段落０１３５－０１５９，図１	１－７