

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2022年8月25日(25.08.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/175776 A1

(51) 国際特許分類:

H01L 31/12 (2006.01) G02B 27/02 (2006.01)
G09F 9/30 (2006.01) H05B 33/02 (2006.01)
H01L 27/32 (2006.01) H01L 51/50 (2006.01)
A61B 3/12 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/IB2022/051022

(22) 国際出願日: 2022年2月7日(07.02.2022)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2021-024547 2021年2月18日(18.02.2021) JP

(71) 出願人: 株式会社半導体エネルギー研究所
(SEMICONDUCTOR ENERGY LABORATORY
CO., LTD.) [JP/JP]; 〒2430036 神奈川県厚木
市長谷398 Kanagawa (JP).

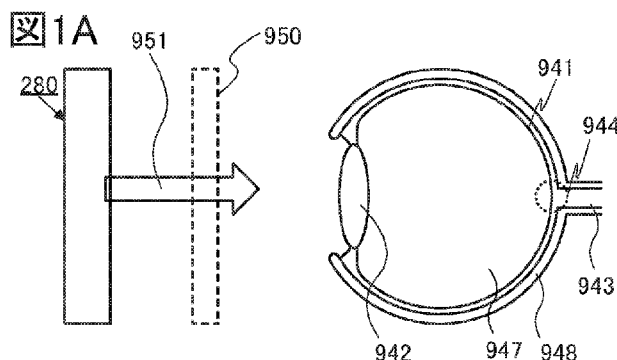
(72) 発明者: 池田隆之(IKEDA, Takayuki); 〒2430036
神奈川県厚木市長谷398株式会社半導体エ
ネルギー研究所内 Kanagawa (JP). 池田寿雄

(IKEDA, Hisao); 〒2430036 神奈川県厚木市
長谷398株式会社半導体エネルギー研究所
内 Kanagawa (JP). 大貫達也(ONUKE, Tatsuya);
〒2430036 神奈川県厚木市長谷398株式会社
半導体エネルギー研究所内 Kanagawa (JP).
山崎舜平(YAMAZAKI, Shunpei); 〒2430036 神
奈川県厚木市長谷398株式会社半導体エネ
ルギー研究所内 Kanagawa (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, 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,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: ELECTRONIC DEVICE

(54) 発明の名称: 電子機器



(57) Abstract: A purpose of one embodiment of the present invention is to provide a novel display device or display system. A purpose of another embodiment of the present invention is to provide a display device or display system which is able to be produced at a low cost, while being capable of offering various functions to the users. According to the present invention, a pixel comprises light emitting elements having different emission colors, a light emitting element IR, a light receiving element PS, and an infrared light sensor IRS. Photographing of an ocular fundus is performed by taking an image of the ocular fundus by means of the light receiving element IRS, while using a light emitting element, which emits infrared light, as a light source. A substrate for a display panel is produced using a single crystal Si substrate which is able to be micromachined and highly integrated.

(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))
 - 白黒。出願原本にはカラー又はグレースケールの情報が含まれており、PATENTSCOPE からのダウンロードが可能。
-

(57) 要約: 本発明の一態様は、新規な表示装置又は表示システムを提供することを目的の一とする。また、本発明の一態様は、低コストで製造でき、使用者に様々な多機能提供することができる表示装置又は表示システムを提供することを目的の一とする。画素は、発光色が互いに異なる発光素子、発光素子 I R、受光素子 P S、赤外光センサ I R S を有する。眼底の撮影は、赤外光を発する発光素子を光源とし、受光素子 I R S で撮像する。表示パネルの基板は、微細加工が可能であり、高集積化の可能な単結晶 S i 基板を用いて作製する。

明細書

発明の名称

電子機器

技術分野

[0001]

半導体装置及びその作製方法に関する。本発明の一態様は、特に、有機エレクトロルミネッセンス (Electroluminescence、以下ELとも記す) 現象を利用した電子機器及び表示システムに関する。

[0002]

なお、本明細書中において半導体装置とは、半導体特性を利用することで機能しうる装置全般を指し、電気光学装置、半導体回路および電子機器は全て半導体装置である。

背景技術

[0003]

テレビ受像機で代表される大型表示装置から腕時計で代表される小型表示装置に至るまで様々な表示装置が市場に普及している。近年、スマートフォンで代表される携帯電話、タブレット型情報端末、ノート型PC (パーソナルコンピュータ) で代表される情報端末機器が広く普及している。また、頭部装着方式またはメガネ方式を用いる表示装置 (特許文献1) も開発されている。

[0004]

また、EL現象を利用した発光素子が知られている。この発光素子は、自発光型であるためコントラストが高く、入力信号に対する応答速度が速い。そして、この発光素子を応用した、消費電力が低減され、製造工程が簡単な、高精細化及び基板の大型化への対応が容易な表示装置が知られている (特許文献2)。

[先行技術文献]

[特許文献]

[0005]

[特許文献1] 特開2016-110117号公報

[特許文献2] 特開2011-238908号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006]

本発明の一態様は、新規な表示装置又は表示システムを提供することを目的の一とする。また、本発明の一態様は、低コストで製造でき、使用者に様々な多機能提供することができる表示装置又は表示システムを提供することを目的の一とする。また、本発明の一態様は、使用者の目の情報を得ることができる表示装置又は表示システムを提供することを目的の一とする。

課題を解決するための手段

[0007]

本明細書で開示する構成は、使用者の頭部に装着される電子機器であり、同一基板または同一基板上にトランジスタと発光素子と受光素子とを有する表示装置を有し、表示装置は、画像を表示する機能と、使用者の眼底を撮像する機能と、を有する電子機器である。

[0008]

上記構成において、発光素子は、可視光を発する有機発光素子である。有機発光素子の発する発光は、赤色、緑色、青色、または白色である。

[0009]

また、上記構成において、発光素子は、非可視光を発する有機発光素子である。例えば、赤外光を発光する有機発光素子である。

[0010]

また、上記各構成において、トランジスタの半導体層は、単結晶シリコンを用いる。トランジスタの半導体層を単結晶シリコンとする場合には単結晶Si基板を用い、公知の方法を用いてn型またはp型の不純物元素をドーピングして低抵抗領域を形成する。

[0011]

また、上記各構成において、トランジスタの半導体層は酸化物半導体を用いる。トランジスタの半導体層を酸化物半導体とする場合には基板上にスパッタ法を用いて成膜を行う。

[0012]

また、上記各構成において、電子機器は、発光素子と受光素子とを有しており、使用者の目を撮像することによって眼底画像を得て診断することができる。

[0013]

本明細書において、メタルマスク、またはFMM（ファインメタルマスク、高精細なメタルマスク）を用いて作製されるデバイスをMM（メタルマスク）構造のデバイスと呼称する場合がある。また、本明細書において、メタルマスク、またはFMMを用いることなく作製されるデバイスをMML（メタルマスクレス）構造のデバイスと呼称する場合がある。

[0014]

なお、本明細書において、各色の発光デバイス（ここでは青（B）、緑（G）、及び赤（R））で、発光層を作り分ける、または発光層を塗り分ける構造をSBS（Side By Side）構造と呼ぶ場合がある。また、本明細書において、白色光を発することのできる発光デバイスを白色発光デバイスと呼ぶ場合がある。なお、白色発光デバイスは、着色層（たとえば、カラーフィルタ）と組み合わせることで、フルカラー表示の発光装置を実現することができる。

[0015]

また、発光デバイスは、シングル構造と、タンデム構造とに大別することができる。シングル構造のデバイスは、一対の電極間に1つの発光ユニットを有し、当該発光ユニットは、1以上の発光層を含む構成とすることが好ましい。白色発光を得るには、2以上の発光層の各々の発光が補色の関係となるような発光層を選択すればよい。例えば、第1の発光層の発光色と第2の発光層の発光色を補色の関係になるようにすることで、発光デバイス全体として白色発光する構成を得ることができる。また、発光層を3つ以上有する発光デバイスの場合も同様である。

[0016]

タンデム構造のデバイスは、一対の電極間に2以上の複数の発光ユニットを有し、各発光ユニットは、1以上の発光層を含む構成とすることが好ましい。白色発光を得るには、複数の発光ユニットの発光層からの光を合わせて白色発光が得られる構成とすればよい。なお、白色発光が得られる構成については、シングル構造の構成と同様である。なお、タンデム構造のデバイスにおいて、複数の発光ユニットの間には、電荷発生層の中間層を設けると好適である。

[0017]

また、上述の白色発光デバイス（シングル構造またはタンデム構造）と、S B S構造の発光デバイスと、を比較した場合、S B S構造の発光デバイスは、白色発光デバイスよりも消費電力を低くすることができる。消費電力を低く抑えたい場合においては、S B S構造の発光デバイスを用いると好適である。一方で、白色発光デバイスは、製造プロセスがS B S構造の発光デバイスよりも簡単であるため、製造コストを低くすることができる、又は製造歩留まりを高くすることができるため、好適である。

発明の効果

[0018]

本発明の一態様により、使用者の目の情報を正確に認識することができる電子機器を提供することができる。又は、本発明の一態様により、新規な電子機器を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0019]

図1 Aは、本発明の一態様を示す表示装置及び目の断面概念図であり、図1 Bは網膜パターンを示す模式図であり、図1 Cは表示パネルの斜視図である。

図2 Aは本発明の一態様を示す表示パネルの斜視図であり、図2 B及び図2 Cは画素の配置例を示す上面模式図である。

図3 Aは本発明の一態様を示す断面模式図であり、図3 B及び図3 Cは電子機器の外観模式図である。

図4 A、図4 B、及び図4 Cは本発明の一態様を示す表示パネルの断面模式図である。

図5 A、図5 B、及び図5 Cは本発明の一態様を示す表示パネルの模式図である。

図6は本発明の一態様を示す電子機器の斜視図である。

図7 Aは本発明の一態様を示す画素の配置例を示す上面図であり、図7 Bは表示パネルの断面模式図である。

図8は本発明の一態様を示す上面模式図である。

図9は、半導体装置の構成例を示す断面図である。

図10は、半導体装置の構成例を示す断面図である。

図11は、半導体装置の構成例を示す断面図である。

図12は、半導体装置の構成例を示す断面図である。

図13は、半導体装置の構成例を示す断面図である。

図14は、半導体装置の構成例を示す断面図である。

図15 A乃至図15 Dは、発光素子の構成例を説明する図である。

図16 A乃至図16 Dは、表示装置の構成例を示す図である。

図17 A乃至図17 Dは、表示装置の構成例を示す図である。

図18 Aは、トランジスタの構成例を示す上面図である。図18 B及び図18 Cは、トランジスタの構成例を示す断面図である。

図19 Aは、IGZOの結晶構造の分類を説明する図である。図19 Bは、CAAC-IGZO膜のXRDスペクトルを説明する図である。図19 Cは、CAAC-IGZO膜の極微電子線回折パターンを説明する図である。

発明を実施するための形態

[0020]

以下では、本発明の実施の形態について図面を用いて詳細に説明する。ただし、本発明は以下の説明に限定されず、その形態および詳細を様々に変更し得ることは、当業者であれば容易に理解される。また、本発明は以下に示す実施の形態の記載内容に限定して解釈されるものではない。

[0021]

なお、以下に説明する発明の構成において、同一部分又は同様な機能を有する部分には同一の符号を異なる図面間で共通して用い、その繰り返しの説明は省略する。また、同様の機能を指す場合には、ハッチパターンを同じくし、特に符号を付さない場合がある。

[0022]

なお、本明細書で説明する各図において、各構成の大きさ、層の厚さ、又は領域は、明瞭化のために誇張されている場合がある。よって、必ずしもそのスケールに限定されない。

[0023]

なお、本明細書における「第1」、または「第2」の序数詞は、構成要素の混同を避けるために付すものであり、数的に限定するものではない。

[0024]

また、本明細書において、「上に」、「下に」、「左に」、「右に」の配置を示す語句は、構成同士的位置関係を、図面を参照して説明するために、便宜上用いている。また、構成同士的位置関係は、各構成を描写する方向に応じて適宜変化するものである。したがって、明細書で説明した語句に限定されず、状況に応じて適切に言い換えることができる。

[0025]

トランジスタは半導体素子の一種であり、電流、または電圧の増幅、導通又は非導通を制御するスイッチング動作を実現することができる。本明細書におけるトランジスタは、IGFET (Insulated Gate Field Effect Transistor)、または薄膜トランジスタ (TFT: Thin Film Transistor) を含む。

[0026]

また、本明細書において、トランジスタが有するソースとドレインの機能は、トランジスタの極性、又は回路動作において電流の方向が変化する場合には入れ替わることがある。このため、ソース、またはドレインの用語は、入れ替えて用いることができるものとする。

[0027]

また、本明細書において、「電氣的に接続」には、直接接続している場合と、「何らかの電氣的作用を有するもの」を介して接続されている場合が含まれる。ここで、「何らかの電氣的作用を有するもの」は、接続対象間での電気信号の授受を可能とするものであれば、特に制限を受けない。よって、「電氣的に接続する」と表現される場合であっても、現実の回路においては、物理的な接続部分がなく、配線が延在しているだけの場合もある。また、「直接接続」と表現される場合であっても、異なる導電体がコンタクトを介して接続される場合が含まれる。なお、配線には、異なる導電体の一つ以上の同じ元素を含む場合と、異なる元素を含む場合と、がある。

[0028]

また、本明細書において、特に断りがない場合、オフ電流とは、トランジスタがオフ状態（非導通状態、遮断状態、ともいう）にあるときのドレイン電流をいう。オフ状態とは、特に断りがない場合、nチャネル型トランジスタでは、ゲートとソースの間の電圧 V_{gs} がしきい値電圧 V_{th} よりも低い（pチャネル型トランジスタでは、 V_{th} よりも高い）状態をいう。

[0029]

また、本明細書において「電極」または「配線」の用語は、これらの構成要素を機能的に限定するものではない。例えば、「電極」は「配線」の一部として用いられることがあり、その逆もまた同様である。さらに、「電極」または「配線」の用語は、複数の「電極」または「配線」が一体となって形成されている場合も含む。

[0030]

また、本明細書において、「抵抗」の抵抗値を、配線の長さによって決める場合がある。又は、抵抗値は、配線で用いる導電体とは異なる抵抗率を有する導電体と接続することにより決める場合がある。又は、半導体に不純物をドーピングすることで抵抗値を決める場合がある。

[0031]

また、本明細書において、電気回路における「端子」とは、電流又は電圧の入力又は出力、信号の受信又は送信が行なわれる部位をいう。よって、配線又は電極の一部が端子として機能する場合がある。

[0032]

本明細書において、金属酸化物 (metal oxide) とは、広い意味での金属の酸化物である。金属酸化物は、酸化物絶縁体、酸化物導電体 (透明酸化物導電体を含む)、酸化物半導体 (Oxide Semiconductor 又は単に OS ともいう) に分類される。例えば、トランジスタの活性層に金属酸化物を用いた場合、当該金属酸化物を酸化物半導体と呼称する場合がある。つまり、OS FET と記載する場合においては、金属酸化物又は酸化物半導体を有するトランジスタと換言することができる。

[0033]

(実施の形態 1)

本実施の形態では、本発明の一態様の電子機器について、図面を参照して説明する。

[0034]

図 1 A は、表示パネル 280 と使用者の目の位置関係を表す模式図である。表示パネル 280 は複数の発光素子と複数の受光素子を有している。表示パネル 280 の発光素子からの発光 951 を照射し、光学系 950 を介して目に照射して反射した光を受光素子で受光し、目の周辺、目の表面、または目の内部 (眼底) の撮像を行う。例えば、図 1 A に示す表示パネル 280 は、発光素子及受光素子を有しているため、光学系 950 を介して眼底を撮影し、網膜パターンの画像データを取得することができる。ただし、光学系 950 で焦点を調節するとその他は撮像が困難となる。例えば、眼底に焦点を合わせた場合は、目の周辺は焦点が合わないため撮像がほとんどできない。

[0035]

使用者の目は、水晶体 942、網膜 941、視神経 943、硝子体 947、脈絡膜 948、及び角膜で構成されている。なお、角膜と水晶体の間に瞳孔があるが、簡略化のため、角膜及び瞳孔は図示していない。毛様体は虹彩から続く組織であり、毛様体から続く組織が脈絡膜 948 である。虹彩と瞳孔の働きはカメラの絞りのように網膜 941 に照射される光を調節している。網膜 941 の模様、いわゆる網膜パターンは基本的には生まれてから死ぬまで変化しないと言われており、網膜パターンを用いることによって個人認証ができる。表示パネル 280 で得られる網膜パターンを用いて、遠隔地においても目の診断を行うことができる。

[0036]

図1Bに得られる右目の網膜パターンの一例を示す。網膜941には、視神経乳頭944、静脈945、動脈946、黄斑、または中心窩が観察できる。視神経乳頭944は、視神経943と網膜941の境界部分を指しており、視神経乳頭944から静脈945及び動脈946が広がるように配置されている。なお、眼底とは、眼球の後ろ側の部分を指しており、網膜941、硝子体947、脈絡膜948、視神経乳頭944といったものの総称である。なお、左目の場合、視神経乳頭944は網膜パターンの左側に位置し、図1Bの右目の網膜パターンを左右反転したような網膜パターンとなる。

[0037]

表示パネル280の受光素子を用いて、眼底の網膜パターンを取得するためには瞳孔を開く必要がある。瞳孔を開いて眼底を撮像するために次の手順で表示を変える。表示パネル280の表示画面を徐々に暗くして使用者の目を暗順応させる。16.7ms以下の短時間の間、表示画面を明るくして撮像する。その後、表示画面を徐々に元の明るさに戻す。

[0038]

また、表示パネル280を用いて、使用者の目の疲労度を検出することもできる。一定期間の間、表示画面を明るくして撮像する際、使用者が瞬きをすれば撮影できないため、その回数、タイミング、または目を閉じている時間を検出することにより、回数の多さ、瞬きの間隔、または目を閉じている時間からAI(Artificial Intelligence)を利用したシステムを用いて目の疲労度を推定することもできる。

[0039]

また、表示パネル280の表示画面を暗くしている間に複数回撮像してもよい。複数回撮像することで、網膜血管の拍動を検出し、更に使用者の安静状態または緊張状態の判定をAIを利用したシステムを用いて行うこともできる。また、表示パネル280によって得られる様々なデータを用いて高血圧の診断または糖尿病の診断もAIを利用したシステムを用いて行うことができる。AIを利用したシステムを用いる場合には、表示パネル280に制御回路を搭載する。制御回路は、CPU(Central Processor Unit)またはGPU(Graphics Processing Unit)を用いる。また、制御回路は、CPUとGPUを一つに統合したチップをAPU(Accelerated Processing Unit)を用いることもできる。AI(システムを組み込んだIC(推論チップとも呼ぶ)を用いてもよい。AIシステムを組み込んだICは、ニューラルネットワーク演算を行う回路(マイクロプロセッサ)と呼ぶ場合もある。

[0040]

また、表示パネル280の表示画面を暗くしている間に、画面上に注目しやすいパターンを表示パネル280の表示画面に表示することで、眼球の向きを制御してもよい。

[0041]

表示パネル280と眼の表面(例えば角膜)までの距離は約2cm以下が望ましい。この位置関係を実現するために焦点距離の短い光学系950が表示パネル280と眼の間に配置される。

[0042]

光学系950により画面を10倍に拡大して表示した場合、例えば表示パネル280の表示画面サイズを対角約1インチのサイズとした場合では、センサ画素ピッチが約10.4 μ mとなるが、網膜の静脈945または動脈946のそれぞれの血管径は約100 μ mより小さく、撮像することができる。

[0043]

図1Cは、表示パネル280の斜視図を示す。表示パネル280は、表示装置400Cと、FPC290と、を有する。表示パネル280はシステムディスプレイと呼ぶこともできる。

[0044]

表示パネル280は、基板291及び基板292を有する。表示パネル280は、画素部284を有する。画素部284は、表示パネル280における画像を表示する領域であり、後述する画素部284に設けられる各画素からの光を視認できる領域である。

[0045]

図2Aに、基板291側の構成を模式的に示した斜視図を示している。基板291上には、回路部282と、回路部282上の画素回路部283と、画素回路部283上の画素部284と、が積層されている。また、基板291上の画素部284と重ならない部分に、FPC290と接続するための端子部285が設けられている。端子部285と回路部282とは、複数の配線により構成される配線部286により電氣的に接続されている。

[0046]

画素部284は、周期的に配列した複数の画素284aを有する。図2Aの右側に、1つの画素284aの拡大図を示している。画素284aは、発光色が互いに異なる発光素子430a、430b、430c、発光素子430IR、受光素子430PS、赤外光センサ430IRSを有する。発光素子430a、430b、430cは、図2Aに示すようにストライプ配列で配置しているが、特に限定されない。また、図2Bに画素284aの配置の一例を示している。図2Bにおいては、緑(G)の発光素子、青(B)の発光素子、赤(R)の発光素子、発光素子430IR、受光素子430PS、赤外光センサ430IRSがそれぞれ配置されている例を示している。

[0047]

発光素子430a、430b、430c及び発光素子430IRとしては、OLED (Organic Light Emitting Diode)、またはQLED (Quantum-dot Light Emitting Diode) で代表されるEL素子を用いることが好ましい。EL素子が有する発光物質としては、蛍光を発する物質(蛍光材料)、燐光を発する物質(燐光材料)、無機化合物(量子ドット材料)、熱活性化遅延蛍光を示す物質(熱活性化遅延蛍光(Thermally activated delayed fluorescence: TADF)材料)が挙げられる。また、発光素子として、マイクロLED (Light Emitting Diode) で代表されるLEDを用いることもできる。

[0048]

発光素子430IRは、不可視光を発する。ここでは、発光素子430IRが、赤外光IRを発する例を示している。受光素子430PSは、少なくとも発光素子430IRが発する赤外光に感度を有する光電変換素子である。

[0049]

受光素子430PSは、例えば700nm以上900nm以下の波長域内に、感度を有すればよい。また、受光素子430PSは、赤外光だけでなく、発光素子430IR、及び発光素子430a、430b、430cがそれぞれ発する光に感度を有することが好ましい。受光素子430PSが可視光及び赤外光に感度を有する場合、例えば500nm以上1000nm以下の波長域、500nm以上950nm以下の波長域、または500nm以上900nm以下の波長域に、感度を有する

ことが好ましい。

[0050]

受光素子430PSとしては、例えば、pn型またはpin型のフォトダイオードを用いることができる。受光素子は、受光素子に入射する光を検出し電荷を発生させる光電変換素子として機能する。光電変換素子は、入射する光量に応じて、発生する電荷量が決まる。特に、受光素子430PSとして、有機化合物を含む層を有する有機フォトダイオード(OPD: Organic Photo Diode)を用いることが好ましい。これにより、第1の発光素子、第2の発光素子、及び受光素子を作製する生産設備、製造装置、及びこれらに用いることのできる材料を、一部共通化することができるため作製コストを低減できる。さらには、これらの作製工程を簡略化できるため製造歩留まりを向上させることができる。有機フォトダイオードは、薄型化、軽量化、及び大面積化が容易であり、また、形状及びデザインの自由度が高いため、様々な表示装置に適用できる。

[0051]

画素回路部283は、周期的に配列した複数の画素回路283aを有する。

[0052]

1つの画素回路283aは、1つの画素284aが有する3つの発光素子の発光を制御する回路である。1つの画素回路283aは、1つの発光素子の発光を制御する回路が3つ設けられる構成としてもよい。例えば、画素回路283aは、1つの発光素子につき、1つの選択トランジスタと、1つの電流制御用トランジスタ(駆動トランジスタ)と、容量素子と、を少なくとも有する構成とすることができる。このとき、選択トランジスタのゲートにはゲート信号が、ソースまたはドレインの一方にはソース信号が、それぞれ入力される。これにより、アクティブマトリクス型の表示装置が実現されている。

[0053]

回路部282は、画素回路部283の各画素回路283aを駆動する回路を有する。例えば、ゲート線駆動回路、及び、ソース線駆動回路の一方または双方を有することが好ましい。このほか、演算回路、メモリ回路、制御回路、及び電源回路の少なくとも一つを有していてもよい。

[0054]

FPC290は、外部から回路部282にビデオ信号または電源電位を供給するための配線として機能する。また、FPC290上にICが実装されていてもよい。

[0055]

表示パネル280は、画素部284の下側に画素回路部283及び回路部282の一方または双方が積層された構成とすることができるため、画素部284の開口率(有効表示面積比)を極めて高くすることができる。例えば画素部284の開口率は、40%以上100%未満、好ましくは50%以上95%以下、より好ましくは60%以上95%以下とすることができる。また、画素284aを極めて高密度に配置することが可能で、画素部284の精細度を極めて高くすることができる。例えば、画素部284には、2000ppi以上、好ましくは3000ppi以上、より好ましくは5000ppi以上、さらに好ましくは6000ppi以上であって、20000ppi以下、または30000ppi以下の精細度で、画素284aが配置されることが好ましい。

[0056]

また、図2Cに図2Bの画素部284aとは異なる画素部284bの例を示している。図2Cにおいては、緑(G)の発光素子、青(B)の発光素子、赤(R)の発光素子に加えて白(W)の発光

素子を設ける例である。

[0057]

図3Aに、本発明の一態様の表示装置を有する電子機器80の断面図の一例を示す。また、電子機器80は、メガネ方式とした場合の一例を図3Cに示し、使用者に装着した例を図3Bに示す。図3Bに、図示していないが、電子機器80は、表示パネル280を駆動させるための二次電池を有している。

[0058]

図3Aに示す表示パネル280は、図2Bにおける一点鎖線A1-A2間の断面構造に相当する。図3Aに示す電子機器80は、筐体103と保護部材105との間に、表示パネル280を有する。表示パネル280は基板291と基板292との間に、複数の発光素子及び複数の受光素子を有する。ここで、図3A及び図3Bは、電子機器80の、表示装置としての機能と、対象物（使用者81の眼底）を撮像する機能と、を説明する模式図である。

[0059]

電子機器80は、フルカラーでの表示は、赤色の光951Rを発する発光素子130R、緑色の光951Gを発する発光素子130G、青色の光951Bを発する発光素子130Bを用い、眼底の撮影は、赤外光である発光951IRを発する発光素子を光源とし、受光素子IRSで撮像する。

[0060]

また、受光素子PSは、RGBである反射光または外光を受光することができ、目の周りの明るさを検出でき、眼底を撮影する前に暗くなっているかどうかを確認することができる。また、この確認が不要である場合には受光素子PSを設けなくともよい。

[0061]

赤外光である発光951IRを発する発光素子及び、受光素子IRSと重なる領域には眼底に焦点があうように光学系を設置する。

[0062]

図3Aにおいて、表示パネル280の基板291は、ガラス基板またはプラスチック基板を用いてスイッチング素子を形成し、その上にスイッチング素子と電気的に接続する有機EL素子(OEL)または受光素子を形成してもよいが、微細加工が可能であり、高集積化の可能な単結晶Si基板を用いて作製することが好ましい。

[0063]

また、電子機器80に搭載する表示パネル280の構成例について図4A、図4B、及び図4Cに示す。なお、図4A、図4B、及び図4Cは、図1Aと対応しており、同じ部分には同じ符号を用いる。

[0064]

図4Aでは表示パネルの駆動回路を作りこんだ単結晶Si基板上に酸化半導体(OS)を用いたスイッチング素子を形成し、該スイッチング素子と電気的に接続する有機EL素子(OEL)を形成する例を示している。高精細ディスプレイとする場合、各画素の駆動トランジスタに流れる電流がナノアンペアレベルとなり、シリコンを用いたトランジスタでは電流が流れすぎるため、OSトランジスタが適している。また、黒表示において、オフ電流が低いことが好ましく、オフ電流が低いOSトランジスタが適している。また、有機EL素子を用いる場合、望ましくは10V以上の耐圧が必要となり、シリコンを用いたトランジスタよりもOSトランジスタが適している。有機EL

素子（OEL）からの発光951は、画像表示を使用者に認識させることができる。また、有機EL素子を有する層に、赤外光を発する発光素子IRと、受光素子であるOPDを形成することで、赤外光を発して使用者の眼底に反射した光をOPDで受光することで眼底撮影を行うことができる。また、受光素子を単結晶Si基板に作りこみ、赤外光を発して使用者の眼底に反射した光を受光領域にシリコンを含むフォトダイオードで受光することで眼底撮影を行ってもよい。

[0065]

また、図4Bは、2枚の単結晶Si基板を貼り合わせる例を示している。駆動回路または制御回路を作りこんだ第1の単結晶Si基板と、有機EL素子（OEL）と電氣的に接続するスイッチング素子を作りこんだ第2の単結晶Si基板を公知の技術を用いて貼り合わせている。第2の単結晶Si基板に受光素子を単結晶Si基板に作りこみ、赤外光を発して使用者の眼底に反射した光を受光領域にシリコンを含むフォトダイオードで受光することで眼底撮影を行ってもよい。

[0066]

図4Bにおいて、外界は図3Cに示した電子機器80に設けた外部カメラ91で撮影したものを表示する。AR方式では表示する位置を合わせることが困難だが、外部カメラ91で撮像した画像を認識することにより、現実を拡張することが可能となる。また、電子機器80におけるメガネのつるの部分にバッテリー92を設けてもよい。当該バッテリー92としては、外部カメラ91、または表示パネル280に電力を供給する機能を有する。

[0067]

また、図4Cは、単結晶Si基板を薄膜化させた例を示している。図4Cの単結晶Si基板には受光素子と、有機EL素子（OEL）と電氣的に接続するスイッチング素子を作りこみ、駆動回路または制御回路は外付けとする。

[0068]

なお、図4A及び図4Cにおいては、単結晶Si基板の膜厚が薄い場合には可視光を透過させることもできる。従って、外光を透過させるAR方式の電子機器とすることもできる。

[0069]

また、図5A、図5B、及び図5Cに表示パネル280のサイズのバリエーションの例を示す。なお、図5A、図5B、及び図5Cの表示パネル280の周縁形状は矩形としているが、特に限定されず、円形または楕円形としてもよい。

[0070]

図5Aは、使用者の頭部に表示パネル280を装着した場合に、使用者の一方の目のみに重なる例であり、単眼式となる例である。なお、両方の目の眼底を撮影する場合には、右目用と、左目用の2つの電子機器を用意する。図5Aにおいては、表示パネル280の構成に単結晶Si基板を用いる場合、小さいサイズであるため、製造コストを低減することができる。図8Aに示すように、1枚のシリコンウェハから複数のチップを取り出すことができる。例えば12インチのシリコンウェハを用いてチップサイズを26mm×16.5mmとする場合、1枚のウェハから142個のチップを得ることができる。一つのチップには画面サイズが19.9mm×14.9mm（対角0.99インチの表示パネルが作製でき、画素数を1920×1440として解像度を2449ppiとすることができる。また、使用者の頭部に表示パネル280を装着した場合に電子機器全体を軽量とすることができる。

[0071]

図5 Bは、右目用の表示パネル280 Rと、左目用の表示パネル280 Lとを別々に設けるメガネ方式の例を示している。

[0072]

図5 Cは、1枚の表示パネル280で両目と重なる例であり、画面サイズが他の例よりも大きい面積を有している例である。表示パネル280の面積が大きいため、目の位置合わせにおいてマージンが広く、使用者の個人差に対応することができる。

[0073]

図5 A、図5 B、及び図5 Cに示す例においては、従来の眼科診断装置に比べて大幅に小型化、目つ、軽量化を実現できる。

[0074]

目には収差があり、表示画面に表示された画像が網膜上に完全に投影される訳ではない。脳が学習によって像を構築する。逆に網膜パターンはセンサ上に従来の眼科診断装置のような明瞭なパターンを投影しない。また、A Iを利用したシステムを用いて認証または健康監視を行うことができる。

[0075]

A Iを利用したシステムを用いる場合には、演算処理を電子機器の内部で行う場合と、撮像した画像データはネットワークを介して外部に送信し、外部の演算装置で演算を行う場合と、それらを組み合わせる場合とがある。

[0076]

電子機器の内部で演算処理の一部または全部を行う場合には、図4 A、図4 B、及び図4 Cに示した単結晶S i基板に制御回路を設ける必要がある。また、演算処理の一部を行う場合には、酸化物半導体(O S)を用いたトランジスタによって演算回路を形成してもよい。

[0077]

外部に送信する場合には、データの送受信回路を電子機器に搭載し、A Iを利用したシステムを用いる。

[0078]

また、使用者の所有している携帯情報端末と近距離通信できるようにしてもよい。携帯情報端末がA Iを利用したシステムを用いるアプリケーションをダウンロードしていれば、携帯情報端末とデータをやり取りすることで、認証または健康監視を行うこともできる。

[0079]

健康監視の一例として、表示パネル280を用いて目の健康監視を行うことができる。

[0080]

定期的に、表示パネル280を有する電子機器の装着時に眼底を撮像する。眼底の撮影時には、表示を暗くして使用者の目を暗順応させる期間があり、その期間中に撮像できない時間は瞬きをしている時間または目を閉じている時間であるため、その一定期間での瞬きの回数または時間のデータを取得し、蓄積しておく。また、データ取得時に疲れ目の自覚症状の度合いも併せて使用者が入力することで教師データを作成し、蓄積したデータに基づいて、目の疲れまたは目の異常をA Iを利用したシステムを用いて検出することもできる。

[0081]

また、図3 Bにおいてはメガネ方式の電子機器80の例を示しているが、頭部に装着するのであれば特に限定されず、図6に示すようにヘッドマウントディスプレイ(HMD: Head Mount

ted Display) と呼ばれる電子機器 80 の表示パネル 280 を搭載してもよい。また、電子機器 80 は、ゴーグル型電子機器ということができる。

[0082]

図 6 においては、図 5 C に示すように両目と重なる表示パネル 280 を用いる例を示している。

[0083]

電子機器 80 は、筐体 31 と、表示パネル 280 と、固定具 34 と、バッテリー 37 と、一对の光学部材（光学部材 35 a、光学部材 35 b）と、一对のフレーム（フレーム 36 a、フレーム 36 b）と、を有する。また、電子機器 80 を駆動させるためのバッテリー 37 は、固定具 34 に内蔵または接して設けられているケーブルを介して電子機器 80 の各部分に電力を供給している。バッテリー 37 を筐体 31 に設ける構成としてもよいが、固定具 34 に設ける構成とすることで、電子機器 80 の重心を後方にすることができ、使用者への装着感が高まるため好適である。なお、バッテリー 37 以外にも電子機器 80 の重心を調整するために、表示パネル 280 を動作させる駆動回路を、固定具 34 に設けてもよい。

[0084]

また、電子機器 80 には開口部 32 が設けられており、開口部 32 と接するように光学部材 35 a、35 b、及びフレーム 36 a、36 b が設けられている。フレーム 36 a、36 b は、光学部材 35 a、35 b の側面と接し、光学部材 35 a、35 b をそれぞれ取り囲むように設けられている。また、表示パネル 280 は、筐体 31 の内部に設けることができる。

[0085]

表示パネル 280 は、画像を表示する機能を有する。表示パネル 280 に表示された画像は、電子機器 80 の使用者が光学部材 35 a、35 b を通して視認することができる。表示パネル 280 は、高精細の画像を表示する機能を有することが好ましい。例えば、表示パネル 280 は、表示領域の大きさを 8 インチとした場合に、8 K 4 K の解像度の画像を表示する機能を有することが好ましい。

[0086]

電子機器 80 の使用者は、表示パネル 280 に表示された画像を、光学部材 35 a、35 b を介して視認することができる。電子機器 80 は、VR 表示が可能な電子機器とすることができる。

[0087]

表示パネル 280 は、光を検出する機能も有する。表示パネル 280 には、光電変換素子である受光素子が設けられる。

[0088]

表示パネル 280 の発光素子が発する光が例えば電子機器 80 の使用者の顔に照射され、反射した光を表示パネル 280 の受光素子により検出することができる。例えば、表示パネル 280 は電子機器 80 を装着した使用者の目、及びその周辺の状態を検出する機能を有することができる。よって、電子機器 80 は、使用者の表情の、使用者の顔の特徴を認識する機能を有することができるため、例えば使用者の疲労度、感情を推定する機能を有することができる。電子機器 80 は、例えば、涙目の検出、瞬きの検出、または視線の検出ができる。

[0089]

表示パネル 280 は、表示のための発光素子とは別の発光素子、例えば赤外光、例えば近赤外光を発する素子を有することが好ましい。この場合、表示パネル 280 の受光素子は、例えば赤外光、例えば近赤外光を検出する機能を有することが好ましい。これにより、電子機器 80 は、使用者の

眼底を撮像することができる。

[0090]

(実施の形態2)

本実施の形態では、OPDを用いるのではなく、光源104として発光ダイオード(LED: Light Emitting Diode)を用いる例である。

[0091]

また、図7Aに図2Bの画素部284aとは異なる画素部284cの例を示している。図7Aにおいては、緑(G)の発光素子、青(B)の発光素子、赤(R)の発光素子に加えて赤外光センサIRSを設ける例である。

[0092]

図7Bに示す表示パネル280は、図7Aにおける一点鎖線A3-A4間の断面構造に相当する。筐体103と保護部材105との間に、表示パネル280を有する。ここで、図7Bに示す表示パネル280は、表示装置としての機能と、対象物(使用者81の顔、目の虹彩、または眼底)を撮像する機能と有する。また、図7A及び図7Bは、光源104として発光ダイオード(LED)を用いている。図7Bでは、表示パネル280と重ならない位置に光源104が配置されている例を示す。このとき、光源104の発光951IRは、保護部材105を介して、電子機器の外部に射出される。表示パネル280は、基板106と基板102との間に、複数の発光デバイス及び複数の受光デバイスを有する。副画素(R)は、赤色の光951Rを発する発光デバイス130Rを有する。副画素(G)は、緑色の光951Gを発する発光デバイス130Gを有する。副画素(B)は、青色の光951Bを発する発光デバイス130Bを有する。これらの副画素を用いることで、表示パネル280でフルカラーの画像を表示することができる。また、副画素(PS)は、受光デバイス150PSを有し、光32RGBを受光する。また、光源104が発した赤外光951IRは、対象物(ここでは眼底)によって反射され、対象物からの反射光32IRが受光デバイス150IRSに入射される。対象物は、電子機器に接触していないが、受光デバイス150IRSを用いて、対象物を検出することができる。

[0093]

図7Bに示す表示パネル280を用いた場合、フルカラーでの撮影は、赤色の光951Rを発する発光素子130R、緑色の光951Gを発する発光素子130G、青色の光951Bを発する発光素子130Bを光源とし、赤外光での撮影は、赤外光である発光951IRを発する発光素子を光源とする。

[0094]

電子機器の光学系を取り外し可能とすることでフルカラー表示と、眼底の撮像とを切り替えて使用することもできる。

[0095]

本実施の形態は他の実施の形態と自由に組み合わせることができる。

[0096]

(実施の形態3)

本実施の形態では、図4Aに対応する表示パネル280を構成する半導体装置100Aの断面構成例について説明する。

[0097]

図9は、半導体装置100Aの構成例を示す断面図であり、半導体装置100Aの一部を示している。前述した通り、半導体装置100Aは、層10、層20、層30、層60、および封止基板40で構成される。

[0098]

[層10]

層10は、基板701を有し、基板701上に、トランジスタ431が設けられている。トランジスタ431は、例えばメモリセルが備えるトランジスタである。

[0099]

基板701として、単結晶シリコン基板で代表される単結晶半導体基板を用いることができる。なお、基板701として単結晶半導体基板以外の半導体基板を用いてもよい。

[0100]

トランジスタ431は、ゲート電極としての機能を有する導電体443と、ゲート絶縁体としての機能を有する絶縁体445と、基板701の一部と、を有する。基板701の一部は、トランジスタ431のチャネル形成領域を含む領域（半導体領域447）、ソース領域（低抵抗領域449aまたは低抵抗領域449bの一方）、およびドレイン領域（低抵抗領域449aまたは低抵抗領域449bの他方）として機能する。トランジスタ431は、pチャネル型トランジスタであってもよいし、nチャネル型トランジスタであってもよい。

[0101]

基板701として、単結晶シリコン基板で代表される単結晶半導体基板を用いる場合、トランジスタ431は、チャネル形成領域にシリコンを含むトランジスタ（「Siトランジスタ」ともいう。）である。

[0102]

トランジスタ431は、素子分離層403によって他のトランジスタと電氣的に分離される。図9では、素子分離層403によってトランジスタ431と他のトランジスタが電氣的に分離される場合を示している。素子分離層403は、LOCOS（LOCAl Oxidation of Silicon）法、またはSTI（Shallow Trench Isolation）法を用いて形成できる。

[0103]

ここで、トランジスタ431は半導体領域447が凸形状を有する。また、半導体領域447の側面および上面を、絶縁体445を介して、導電体443が覆うように設けられている。なお、図9では、導電体443が半導体領域447の側面を覆う様子は図示していない。導電体443には仕事関数を調整する材料を用いることができる。

[0104]

トランジスタ431のような半導体領域が凸形状を有するトランジスタは、半導体基板の凸部を利用していることから、フィン型トランジスタと呼ぶことができる。なお、凸部の上部に接して、凸部を形成するためのマスクとしての機能を有する絶縁体を有していてもよい。また、図9では基板701の一部を加工して凸部を形成する構成を示しているが、SOI基板を加工して、凸形状を有する半導体を形成してもよい。

[0105]

なお、図9に示すトランジスタ431の構成は一例であり、その構成に限定されず、回路構成また

は回路の動作方法に応じて適切な構成とすればよい。例えば、トランジスタ 4 3 1 は、プレーナ型トランジスタであってもよい。

[0 1 0 6]

基板 7 0 1 上には、素子分離層 4 0 3、並びにトランジスタ 4 3 1 の他に、絶縁体 4 0 5、絶縁体 4 0 7、絶縁体 4 0 9、および絶縁体 4 1 1 が設けられる。また、絶縁体 4 0 5 中、絶縁体 4 0 7 中、絶縁体 4 0 9 中、および絶縁体 4 1 1 中に導電体 4 5 1 が埋設されている。ここで、導電体 4 5 1 の上面の高さと、絶縁体 4 1 1 の上面の高さは同程度にできる。

[0 1 0 7]

導電体 4 5 1 上、および絶縁体 4 1 1 上に絶縁体 4 2 1 および絶縁体 4 2 2 が設けられる。絶縁体 4 2 1 中、および絶縁体 4 2 2 中に導電体 4 5 3 が埋設されている。ここで、導電体 4 5 3 の上面の高さと、絶縁体 4 2 2 の上面の高さは同程度にできる。

[0 1 0 8]

導電体 4 5 3 上、および絶縁体 4 2 2 上に絶縁体 4 2 3 が設けられる。絶縁体 4 2 3 中に導電体 4 5 5 が埋設されている。ここで、導電体 4 5 5 の上面の高さと、絶縁体 4 2 3 の上面の高さは同程度にできる。

[0 1 0 9]

なお、必要に応じて、絶縁体および導電体を積層して、層 1 0 を多層配線構造にしてもよい。

[0 1 1 0]

[層 2 0]

層 2 0 は、基板 7 0 2 を有し、基板 7 0 2 上に、トランジスタ 4 4 1 およびトランジスタ 4 4 2 が設けられている。トランジスタ 4 4 1 は、例えば表示部駆動回路が備えるトランジスタである。トランジスタ 4 4 2 は、例えば記憶部駆動回路が備えるトランジスタである。

[0 1 1 1]

基板 7 0 2 として、基板 7 0 1 と同様に、単結晶シリコン基板で代表される単結晶半導体基板を用いることができる。なお、基板 7 0 2 として単結晶半導体基板以外の半導体基板を用いてもよい。層 2 0 は、層 1 0 と同様の構成にすることができる。よって、層 2 0 の詳細な説明は省略する。

[0 1 1 2]

図 9 では、層 2 0 が備えるトランジスタ 4 4 2 と層 1 0 が備えるトランジスタ 4 3 1 が、導電体 4 5 6 を介して電氣的に接続している。導電体 4 5 6 は、TSV として機能する。なお、層 1 0 と層 2 0 はバンプを介して電氣的に接続してもよい。

[0 1 1 3]

層 2 0 は、導電体 7 6 0 を備える。導電体 7 6 0 は端子部が備える導電体である。図 9 では、導電体 7 6 0 が異方性導電体 7 8 0 を介して FPC 7 1 6 (Flexible Printed Circuit) と電氣的に接続する例を示している。FPC 7 1 6 を介して半導体装置 1 0 0 A に各種信号が供給される。

[0 1 1 4]

また、導電体 7 6 0 は、導電体 3 5 3、導電体 3 5 5、および導電体 3 5 7 を介して層 2 0 が備える導電体 3 4 7 と電氣的に接続される。図 9 では導電体 7 6 0 と導電体 3 4 7 を電氣的に接続する導電体として、導電体 3 5 3、導電体 3 5 5、および導電体 3 5 7 の 3 つを示しているが本発明の一態様はこれに限らない。導電体 7 6 0 と導電体 3 4 7 を電氣的に接続する導電体は 1 つでもよい。

し、2つでもよいし、4つ以上でもよい。導電体760と導電体347を電氣的に接続する導電体を複数設けることで、接触抵抗を低減できる。

[0115]

[層30]

層30は、層20の上に設けられている。層30は、絶縁体214を備え、絶縁体214上に、トランジスタ750が設けられている。トランジスタ750は、例えば、画素回路が備えるトランジスタである。トランジスタ750としては、OSトランジスタを好適に用いることができる。OSトランジスタは、オフ電流が極めて小さいという特徴を有する。よって、画像データの保持時間を長くすることができるため、リフレッシュ動作の頻度を少なくできる。よって、半導体装置100Aの消費電力を低減できる。

[0116]

絶縁体254中、絶縁体279中、絶縁体274中、および絶縁体281中に導電体301aおよび導電体301bが埋設されている。導電体301aは、トランジスタ750のソースまたはドレインの一方と電氣的に接続され、導電体301bは、トランジスタ750のソースまたはドレインの他方と電氣的に接続される。ここで、導電体301a、および導電体301bの上面の高さと、絶縁体281の上面の高さは同程度にできる。

[0117]

絶縁体361中に導電体311、導電体313、導電体331、容量790、導電体333、および導電体335が埋設されている。導電体311および導電体313はトランジスタ750と電氣的に接続され、配線としての機能を有する。導電体333および導電体335は、容量790と電氣的に接続される。ここで、導電体331、導電体333、および導電体335の上面の高さと、絶縁体361の上面の高さは同程度にできる。

[0118]

絶縁体363中に導電体341、導電体343、および導電体351が埋設されている。ここで、導電体351の上面の高さと、絶縁体363の上面の高さは同程度にできる。

[0119]

絶縁体405、絶縁体407、絶縁体409、絶縁体411、絶縁体421、絶縁体422、絶縁体423、絶縁体214、絶縁体279、絶縁体274、絶縁体281、絶縁体361、および絶縁体363は、層間膜としての機能を有し、それぞれの下方の凹凸形状を被覆する平坦化膜としての機能を有してもよい。例えば、絶縁体363の上面は、平坦性を高めるために化学機械研磨（CMP：Chemical Mechanical Polishing）法を用いた平坦化処理により平坦化されていてもよい。

[0120]

図9に示すように、容量790は下部電極321と、上部電極325と、を有する。また、下部電極321と上部電極325との間には、絶縁体323が設けられる。すなわち、容量790は、一対の電極間に誘電体として機能する絶縁体323が挟持された積層型の構造である。なお、図9では絶縁体281上に容量790を設ける例を示しているが、絶縁体281と異なる絶縁体上に、容量790を設けてもよい。

[0121]

図9において、導電体301aおよび導電体301bが同一の層に形成される例を示している。ま

た、導電体 3 1 1、導電体 3 1 3、および下部電極 3 2 1 が同一の層に形成される例を示している。また、導電体 3 3 1、導電体 3 3 3、および導電体 3 3 5 が同一の層に形成される例を示している。また、導電体 3 4 1、および導電体 3 4 3 が同一の層に形成される例を示している。さらに、導電体 3 5 3、導電体 3 5 5、および導電体 3 5 7 が同一の層に形成される例を示している。複数の導電体を同一の層に形成することにより、半導体装置 1 0 0 A の作製工程を簡略できるため、半導体装置 1 0 0 A の製造コストを削減できる。なお、これらはそれぞれ異なる層に形成されてもよく、異なる種類の材料を有してもよい。

[0 1 2 2]

[層 6 0]

層 6 0 は、層 3 0 の上に設けられている。層 6 0 は、発光素子 6 1 を備える。発光素子 6 1 は、導電体 7 7 2、E L 層 7 8 6、および導電体 7 8 8 を有する。E L 層 7 8 6 は、有機化合物、または量子ドットの無機化合物を有する。

[0 1 2 3]

有機化合物に用いることのできる材料として、蛍光性材料または燐光性材料が挙げられる。また、量子ドットに用いることのできる材料として、コロイド状量子ドット材料、合金型量子ドット材料、コア・シェル型量子ドット材料、コア型量子ドット材料が挙げられる。

[0 1 2 4]

導電体 7 7 2 は、導電体 3 5 1、導電体 3 4 1、導電体 3 3 1、導電体 3 1 3、および導電体 3 0 1 b を介して、トランジスタ 7 5 0 のソースまたはドレインの他方と電気的に接続される。導電体 7 7 2 は絶縁体 3 6 3 上に形成され、画素電極としての機能を備える。

[0 1 2 5]

導電体 7 7 2 には、可視光に対して透光性の材料、または反射性の材料を用いることができる。透光性の材料として、例えば、インジウム、亜鉛、を含む酸化物材料、インジウム、ガリウム、亜鉛、を含む酸化物材料（「IGZO」ともいう。）、インジウム、亜鉛、スズを含む酸化物材料（「ITO」ともいう。）、または、インジウム、亜鉛、スズ、珪素を加えた材料（「ITSO」ともいう。）を用いてもよい。また、反射性の材料として、例えば、アルミニウム、または銀を含む材料を用いてもよい。

[0 1 2 6]

例えば、発光素子 6 1 の発する光を導電体 7 8 8 側から射出させる場合は、導電体 7 7 2 が反射性の材料を含むことが好ましい。導電体 7 7 2 は単層構造であってもよいし、複数層の積層構造であってもよい。例えば、導電体 7 7 2 を陽極として用いる場合、2 層の ITO の間に銀を挟む 3 層構造としてもよい。

[0 1 2 7]

また、導電体 7 7 2 が接する被形成面に窒化珪素が含まれる場合、導電体 7 7 2 を、被形成面側から順に、アルミニウム、酸化チタン、および ITO（または ITSO）を積層する 3 層構造にしてもよい。また、導電体 7 7 2 が接する被形成面に窒化珪素が含まれる場合、導電体 7 7 2 を、被形成面側から順にアルミニウムと IGZO を積層する 2 層構造にしてもよい。

[0 1 2 8]

なお、導電体 3 0 1 a、導電体 3 0 1 b、導電体 3 3 1、導電体 3 5 1、導電体 3 5 3、導電体 3 5 5、導電体 3 5 7、導電体 4 5 3、導電体 4 5 6、および導電体 7 6 0 は、他の実施の形態で説

明する導電体 245 a、245 b と同様の構成にしてもよい。例えば、発光素子 61 と電氣的に接続する導電体 351 を、タングステンと窒化チタンを含む導電体としてもよい。より具体的には、絶縁体 363 の側壁とタングステンが窒化チタンを介して隣接する構造としてもよい。

[0129]

図 9 には図示しないが、半導体装置 100 A は、偏光部材、位相差部材、反射防止部材の光学部材（光学基板）を設けることができる。

[0130]

図 9 に示す半導体装置 100 A には、絶縁体 363 上に絶縁体 730 が設けられる。ここで、絶縁体 730 は、導電体 772 の一部を覆う構成とすることができる。また、導電体 788 に透光性の材料を用いて、発光素子 61 を導電体 788 側に光を射出するトップエミッション構造の発光素子とすることができる。なお、発光素子 61 は、導電体 772 側に光を射出するボトムエミッション構造、または導電体 772 および導電体 788 の双方に光を射出するデュアルエミッション構造としてもよい。さらに、構造体 778 が、絶縁体 730 と EL 層 786 との間に設けられる。

[0131]

[封止基板 40]

封止基板 40 は、表示部および層 60 を覆って、層 30 の上方に設けられている。封止基板 40 は、シール材 712（「封止材」ともいう。）によって層 30 と貼り合わされている。発光素子 61 がトップエミッション構造またはデュアルエミッション構造の発光素子である場合は、封止基板 40 に透光性を備える材料を用いる。

[0132]

封止基板 40 を設けることによって、層 60 への不純物の侵入を防ぐことができ、半導体装置 100 A の信頼性を高めることができる。

[0133]

層 60 側には、遮光層 738 が設けられている。遮光層 738 は、隣接する領域から発せられる光を遮る機能を有する。また、遮光層 738 は、外光がトランジスタ 750 に達することを防ぐ機能を有する。図 9 では、遮光層 738 は絶縁体 730 と重なる領域を有するように設けられている。

[0134]

また、遮光層 738 は、絶縁体 734 で覆われている。絶縁体 734 は必要に応じて設ければよい。また、本実施の形態では、発光素子 61 と絶縁体 734 の間に充填層 732 を設ける固体封止構造を示しているが、充填層 732 を設けない中空封止構造であってもよい。半導体装置 100 A を中空封止構造にする場合は、充填層 732 に相当する部位に、第 18 族元素（希ガス（貴ガス））、および／または窒素を含む不活性ガスを封入してもよい。発光素子 61 が発する光が封止基板 40 側に射出される場合は、充填層 732 として透光性を備える材料を用いることが好ましい。

[0135]

<変形例 1>

図 9 に示す半導体装置 100 A の変形例を、図 10 に示す。図 10 に示す半導体装置 100 A は、着色層 736 を設けている点で図 9 に示す半導体装置 100 A と異なる。なお、着色層 736 は、発光素子 61 と重なる領域を有するように設けられている。着色層 736 を設けることにより、発光素子 61 から取り出される光の色純度を高めることができる。これにより、半導体装置 100 A に高品位の画像を表示することができる。また、半導体装置 100 A の例えば全ての発光素子 61

を、白色光を発する発光素子とすることができるため、EL層786を塗り分けにより形成しなくてもよく、半導体装置100Aを高精細なものとすることができる。

[0136]

発光素子61は、微小光共振器（マイクロキャビティ）構造を有することができる。これにより、着色層を設けなくても所定の色の光（例えば、RGB）を取り出すことができ、半導体装置100Aはカラー表示を行うことができる。着色層を設けない構成とすることにより、着色層による光の吸収を抑制できる。これにより、半導体装置100Aは高輝度の画像を表示でき、また半導体装置100Aの消費電力を低減できる。なお、EL層786を画素毎に島状または画素列毎に縞状に形成する、すなわち塗り分けにより形成する場合においても、着色層を設けない構成にできる。なお、半導体装置100Aの輝度としては、例えば、 500 cd/m^2 以上 20000 cd/m^2 以下、好ましくは 1000 cd/m^2 以上 20000 cd/m^2 以下、さらに好ましくは 5000 cd/m^2 以上 20000 cd/m^2 以下にできる。

[0137]

<変形例2>

半導体装置100Aの変形例である、半導体装置100Bの断面構成例を図11に示す。図11に示す半導体装置100Bの断面構成例では、導電体347に替えて、層30が有する絶縁体361上に導電体348を備える。

[0138]

導電体348は、導電体353、導電体355、および導電体357を介して、導電体760と電氣的に接続される。導電体348は導電体347と同様に機能する。

[0139]

<変形例3>

層10上に層20を介して層30が重なる構成の場合の断面構成例を図12に示す。半導体装置100Bの変形例である、半導体装置100Cの断面構成例を図12に示す。図12では、層20を、層20が備えるトランジスタと層10が備えるトランジスタが向き合うように、層10上に重ねて設けている。よって、層30は、層20が備える基板702側に設けられている。

[0140]

層10が備える導電体と、層20が備える導電体は、例えばCu-Cu結合により電氣的に接続することができる。図12において、例えば、層10が備える導電体455と層20が備える導電体465は、Cu-Cu結合により電氣的に接続する。この場合、導電体455と導電体465をCu（銅）を含む導電体で形成する。また、導電体455が埋め込むように設けられている絶縁体423と、導電体465が埋め込むように設けられている絶縁体424は、どちらも同じ元素を含む絶縁体であることが好ましい。例えば、絶縁体423と絶縁体424のそれぞれを酸化シリコンまたは酸化窒化シリコンとすればよい。絶縁体423と絶縁体424を同じ元素を含む絶縁体とすることで、層10と層20の貼り合わせ強度が高まる。また、層10と層20の貼り合わせを行う前に、双方の貼り合わせ面に対してCMP処理を行い、双方の表面の平坦性を高めることが好ましい。

[0141]

また、図12において、層10が備える導電体と、層20が備える導電体は、TSVを介して電氣的に接続してもよい。例えば、層20が備える導電体461および導電体462は、どちらも基板702を貫通するTSVである。

[0142]

<変形例4>

半導体装置100Cの変形例である、半導体装置100Dの断面構成例を図13に示す。図13は、図4Cの表示パネル280に対応する半導体装置である。図13に示す断面構成例では、層30が備えるトランジスタをSiトランジスタで構成する例を示している。

[0143]

また、図14に示すように、層10と層20の間にバンプ454と接着層457を設けてもよい。図14に半導体装置100Dの変形例である、半導体装置100Gの断面構成例を図14に示す。図14は、図4Bの表示パネル280に対応する半導体装置である。層10と層20は接着層457により固定され、バンプ454により電氣的に接続される。図14では、導電体456と導電体455がバンプ454を介して電氣的に接続されている。同様に、層20と層30の間にバンプ458と接着層459を設けてもよい。層20と層30は接着層459により固定され、バンプ458により電氣的に接続される。なお、層10と層20を電氣的に接続するバンプ454の数は1つに限らず、複数であってもよい。層20と層30を電氣的に接続するバンプ458の数は1つに限らず、複数であってもよい。

[0144]

半導体装置100A、半導体装置100B、半導体装置100C、半導体装置100D、および半導体装置100Gにおいても、層30が備えるトランジスタにOSトランジスタ以外のトランジスタ（例えば、Siトランジスタ）を用いてもよい。層10、層20、および層30が備えるトランジスタは、目的または用途に応じて、様々なトランジスタを用いることができる。

[0145]

本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態に示した構成と適宜組み合わせて用いることができる。

[0146]

(実施の形態4)

本実施の形態では、発光素子61（「発光デバイス」ともいう）について説明する。

[0147]

<発光素子の構成例>

図15Aに示すように、発光素子61は、一対の電極（導電体772、導電体788）の間に、EL層786を有する。EL層786は、層4420、発光層4411、または層4430の複数の層で構成することができる。層4420は、例えば電子注入性の高い物質を含む層（電子注入層）および電子輸送性の高い物質を含む層（電子輸送層）を有することができる。発光層4411は、例えば発光性の化合物を有する。層4430は、例えば正孔注入性の高い物質を含む層（正孔注入層）および正孔輸送性の高い物質を含む層（正孔輸送層）を有することができる。

[0148]

一対の電極間に設けられた層4420、発光層4411および層4430を有する構成は単一の発光ユニットとして機能することができ、本明細書では図15Aの構成をシングル構造と呼ぶ。

[0149]

また、図15Bは、図15Aに示す発光素子61が有するEL層786の変形例である。具体的には、図15Bに示す発光素子61は、導電体772上の層4430-1と、層4430-1上の層4430-2と、層4430-2上の発光層4411と、発光層4411上の層4420-1と、

層 4 4 2 0-1 上の層 4 4 2 0-2 と、層 4 4 2 0-2 上の導電体 7 8 8 と、を有する。例えば、導電体 7 7 2 を陽極とし、導電体 7 8 8 を陰極とした場合、層 4 4 3 0-1 が正孔注入層として機能し、層 4 4 3 0-2 が正孔輸送層として機能し、層 4 4 2 0-1 が電子輸送層として機能し、層 4 4 2 0-2 が電子注入層として機能する。または、導電体 7 7 2 を陰極とし、導電体 7 8 8 を陽極とした場合、層 4 4 3 0-1 が電子注入層として機能し、層 4 4 3 0-2 が電子輸送層として機能し、層 4 4 2 0-1 が正孔輸送層として機能し、層 4 4 2 0-2 が正孔注入層として機能する。このような層構造とすることで、発光層 4 4 1 1 に効率よくキャリアを注入し、発光層 4 4 1 1 内におけるキャリアの再結合の効率を高めることが可能となる。

[0150]

なお、図 1 5 C に示すように層 4 4 2 0 と層 4 4 3 0 との間に複数の発光層（発光層 4 4 1 1、発光層 4 4 1 2、発光層 4 4 1 3）が設けられる構成も、シングル構造の一例である。

[0151]

また、図 1 5 D に示すように、複数の発光ユニット（EL 層 7 8 6 a、EL 層 7 8 6 b）が中間層（電荷発生層）4 4 4 0 を介して直列に接続された構成を、本明細書ではタンデム構造またはスタック構造と呼ぶ。なお、タンデム構造とすることで、高輝度発光が可能な発光素子が実現できる。

[0152]

また、発光素子 6 1 を図 1 5 D に示すタンデム構造にする場合、EL 層 7 8 6 a と EL 層 7 8 6 b それぞれの発光色を同じにしてもよい。例えば、EL 層 7 8 6 a および EL 層 7 8 6 b の発光色を、どちらも緑色にしてもよい。なお、表示部が R、G、B の 3 つの副画素を含み、それぞれの副画素が発光素子を有する場合、それぞれの副画素の発光素子をタンデム構造としてもよい。具体的には、R の副画素の EL 層 7 8 6 a、および EL 層 7 8 6 b は、それぞれ、赤色発光が可能な材料を有し、G の副画素の EL 層 7 8 6 a、および EL 層 7 8 6 b は、それぞれ、緑色発光が可能な材料を有し、B の副画素の EL 層 7 8 6 a、および EL 層 7 8 6 b は、それぞれ、青色発光が可能な材料を有する。言い換えると、発光層 4 4 1 1 と発光層 4 4 1 2 の材料が同じでもよい。EL 層 7 8 6 a と EL 層 7 8 6 b の発光色を同じにすることで、単位発光輝度あたりの電流密度を低減できる。よって、発光素子 6 1 の信頼性を高めることができる。

[0153]

発光素子の発光色は、EL 層 7 8 6 を構成する材料によって、赤、緑、青、シアン、マゼンタ、黄または白とすることができる。また、発光素子にマイクロキャビティ構造を付与することにより色純度をさらに高めることができる。

[0154]

発光層には、R（赤）、G（緑）、B（青）、Y（黄）、または O（橙）の発光を示す発光物質を 2 以上含んでもよい。白色の光を発する発光素子（「白色発光デバイス」ともいう。）は、発光層に 2 種類以上の発光物質を含む構成とすることが好ましい。白色発光を得るには、2 以上の発光物質の各々の発光が補色の関係となるような発光物質を選択すればよい。例えば、第 1 の発光層の発光色と第 2 の発光層の発光色を補色の関係になるようにすることで、発光素子全体として白色発光する発光素子を得ることができる。また、発光層を 3 つ以上有する発光素子の場合も同様である。

[0155]

発光層には、R（赤）、G（緑）、B（青）、Y（黄）、O（橙）の発光を示す発光物質を 2 以上含むことが好ましい。または、発光物質が 2 以上有し、それぞれの発光物質の発光は、R、G、B

のうち2以上の色のスペクトル成分を含むことが好ましい。

[0156]

<発光素子61の形成方法>

以下では、発光素子61の形成方法について説明する。

[0157]

図16Aに、発光素子61の上面概略図を示す。発光素子61は、赤色を呈する発光素子61R、緑色を呈する発光素子61G、および青色を呈する発光素子61Bをそれぞれ複数有する。図16Aでは、各発光素子の区別を簡単にするため、各発光素子の発光領域内にR、G、Bの符号を付している。なお、図16Aに示す発光素子61の構成をSBS (Side By Side) 構造と呼称してもよい。また、図16Aに示す構成については、赤色(R)、緑色(G)、および青色(B)の3つの色を有する構成について例示したがこれに限定されない。例えば、4つ以上の色を有する構成としてもよい。

[0158]

発光素子61R、発光素子61G、および発光素子61Bは、それぞれマトリクス状に配列している。図16Aは、一方向に同一の色の発光素子が配列する、いわゆるストライプ配列を示している。なお、発光素子の配列方法はこれに限られず、デルタ配列、ジグザグ配列の配列方法を適用してもよいし、ペンタイル配列を用いることもできる。

[0159]

発光素子61R、発光素子61G、および発光素子61Bとしては、OLED (Organic Light Emitting Diode)、またはQLED (Quantum-dot Light Emitting Diode) で代表される有機ELデバイスを用いることが好ましい。EL素子が有する発光物質としては、蛍光を発する物質(蛍光材料)、燐光を発する物質(燐光材料)、無機化合物(量子ドット材料)、熱活性化遅延蛍光を示す物質(熱活性化遅延蛍光(Thermally activated delayed fluorescence: TADF)材料)が挙げられる。

[0160]

図16Bは、図16A中の一点鎖線A5-A6に対応する断面概略図である。図16Bには、発光素子61R、発光素子61G、および発光素子61Bの断面を示している。発光素子61R、発光素子61G、および発光素子61Bは、それぞれ絶縁層251上に設けられ、画素電極として機能する導電体772、および共通電極として機能する導電体788を有する。絶縁層251としては、無機絶縁膜および有機絶縁膜の一方または双方を用いることができる。絶縁層251として、無機絶縁膜を用いることが好ましい。無機絶縁膜としては、例えば、酸化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、窒化シリコン膜、酸化アルミニウム膜、酸化窒化アルミニウム膜、または酸化ハフニウム膜の酸化物絶縁膜および窒化物絶縁膜が挙げられる。

[0161]

発光素子61Rは、画素電極として機能する導電体772と共通電極として機能する導電体788との間に、EL層786Rを有する。EL層786Rは、少なくとも赤色の波長域に強度を有する光を発する発光性の有機化合物を有する。発光素子61Gが有するEL層786Gは、少なくとも緑色の波長域に強度を有する光を発する発光性の有機化合物を有する。発光素子61Bが有するEL層786Bは、少なくとも青色の波長域に強度を有する光を発する発光性の有機化合物を有する。

[0162]

EL層786R、EL層786G、およびEL層786Bは、それぞれ発光性の有機化合物を含む層（発光層）のほかに、電子注入層、電子輸送層、正孔注入層、および正孔輸送層のうち、一以上を有していてもよい。

[0163]

画素電極として機能する導電体772は、発光素子毎に設けられている。また、共通電極として機能する導電体788は、各発光素子に共通な一続きの層として設けられている。画素電極として機能する導電体772と共通電極として機能する導電体788のいずれか一方に可視光に対して透光性を有する導電膜を用い、他方に反射性を有する導電膜を用いる。画素電極として機能する導電体772を透光性、共通電極として機能する導電体788を反射性とすることで、下面射出型（ボトムエミッション型）の表示装置とすることができ、反対に画素電極として機能する導電体772を反射性、共通電極として機能する導電体788を透光性とすることで、上面射出型（トップエミッション型）の表示装置とすることができる。なお、画素電極として機能する導電体772と共通電極として機能する導電体788の双方を透光性とすることで、両面射出型（デュアルエミッション型）の表示装置とすることもできる。

[0164]

画素電極として機能する導電体772の端部を覆って、絶縁層272が設けられている。絶縁層272の端部は、テーパ形状であることが好ましい。絶縁層272には、絶縁層251に用いることができる材料と同様の材料を用いることができる。

[0165]

EL層786R、EL層786G、およびEL層786Bは、それぞれ画素電極として機能する導電体772の上面に接する領域と、絶縁層272の表面に接する領域と、を有する。また、EL層786R、EL層786G、およびEL層786Bの端部は、絶縁層272上に位置する。

[0166]

図16Bに示すように、異なる色の発光素子間において、2つのEL層の間に隙間が設けられている。このように、EL層786R、EL層786G、およびEL層786Bが、互いに接しないように設けられていることが好ましい。これにより、隣接する2つのEL層を介して電流が流れ、意図しない発光が生じること（クロストークともいう）を好適に防ぐことができる。そのため、コントラストを高めることができ、表示品位の高い表示装置を実現できる。

[0167]

EL層786R、EL層786G、およびEL層786Bは、メタルマスクで代表されるシャドーマスクを用いた真空蒸着法により、作り分けることができる。または、フォトリソグラフィ法により、これらを作り分けてもよい。フォトリソグラフィ法を用いることで、メタルマスクを用いた場合では実現することが困難である高い精細度の表示装置を実現することができる。

[0168]

また、共通電極として機能する導電体788上には、発光素子61R、発光素子61G、および発光素子61Bを覆って、保護層271が設けられている。保護層271は、上方から各発光素子に水で代表される不純物が拡散することを防ぐ機能を有する。

[0169]

保護層271としては、例えば、少なくとも無機絶縁膜を含む単層構造または積層構造とすること

ができる。無機絶縁膜としては、例えば、酸化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、窒化シリコン膜、酸化アルミニウム膜、酸化窒化アルミニウム膜、酸化ハフニウム膜で代表される酸化物膜または窒化物膜が挙げられる。または、保護層 271 としてインジウムガリウム酸化物、インジウムガリウム亜鉛酸化物（IGZO）で代表される半導体材料を用いてもよい。なお、保護層 271 としては、ALD法、CVD法、およびスパッタリング法を用いて形成すればよい。なお、保護層 271 として、無機絶縁膜を含む構成について例示したがこれに限定されない。例えば、保護層 271 として、無機絶縁膜と、有機絶縁膜との積層構造としてもよい。

[0170]

なお、本明細書中において、窒化酸化物とは、酸素よりも窒素の含有量が多い化合物をいう。また、酸化窒化物とは、窒素よりも酸素の含有量が多い化合物をいう。なお、各元素の含有量は、例えば、ラザフォード後方散乱法（RBS: Rutherford Backscattering Spectrometry）を用いて測定することができる。

[0171]

保護層 271 として、インジウムガリウム亜鉛酸化物を用いる場合、ウェットエッチング法、またはドライエッチング法を用いて加工することができる。例えば、保護層 271 として、IGZOを用いる場合、シュウ酸、リン酸、または混合薬液（例えば、リン酸、酢酸、硝酸、および水の混合薬液（混酸アルミニウムエッチング液ともいう））で代表される薬液を用いることができる。なお、当該混酸アルミニウムエッチング液は、体積比にて、リン酸：酢酸：硝酸：水＝53：3：6：7：3：36：7近傍の配合とすることができる。

[0172]

図16Cには、上記とは異なる例を示している。具体的には、図16Cでは、白色の光を呈する発光素子61Wを有する。発光素子61Wは、画素電極として機能する導電体772と共通電極として機能する導電体788との間に白色の光を呈するEL層786Wを有する。

[0173]

EL層786Wとしては、例えば、それぞれの発光色が補色の関係になるように選択された、2以上の発光層を積層した構成とすることができる。また、発光層間に電荷発生層を挟持した、積層型のEL層を用いてもよい。

[0174]

図16Cには、3つの発光素子61Wを並べて示している。左の発光素子61Wの上部には着色層264Rが設けられている。着色層264Rは、赤色の光を透過するバンドパスフィルタとして機能する。同様に、中央の発光素子61Wの上部には緑色の光を透過する着色層264Gが設けられ、右の発光素子61Wの上部には、青色の光を透過する着色層264Bが設けられている。これにより、表示装置はカラーの画像を表示することができる。

[0175]

ここで、隣接する2つの発光素子61W間において、EL層786Wと、共通電極として機能する導電体788とがそれぞれ分離されている。これにより、隣接する2つの発光素子61Wにおいて、EL層786Wを介して電流が流れて意図しない発光が生じることを防ぐことができる。特に、EL層786Wとして、2つの発光層の間に電荷発生層が設けられる積層型のEL層を用いた場合では、精細度が高いほど、すなわち隣接画素間の距離が小さいほど、クロストークの影響が顕著となり、コントラストが低下してしまうといった問題がある。そのため、このような構成とすることで、

高い精細度と、高いコントラストを兼ね備える表示装置を実現できる。

[0176]

EL層786Wおよび共通電極として機能する導電体788の分離は、フォトリソグラフィ法により行うことが好ましい。これにより、発光素子間の間隔を狭めることができるため、例えばメタルマスクのシャドーマスクを用いた場合と比較して、高い開口率の表示装置を実現することができる。

[0177]

なお、ボトムエミッション型の発光素子の場合は、画素電極として機能する導電体772と絶縁層251との間に、着色層を設ければよい。

[0178]

図16Dには、上記とは異なる例を示している。具体的には、図16Dは、発光素子61R、発光素子61G、および発光素子61Bの間に絶縁層272が設けられていない構成である。当該構成とすることで、開口率の高い表示装置とすることができる。また、保護層271がEL層786R、EL層786G、およびEL層786Bの側面を覆う構成である。当該構成とすることで、EL層786R、EL層786G、およびEL層786Bの側面から入り込みうる不純物（代表的には水）を抑制することができる。また、図16Dに示す構成においては、導電体772、EL層786R、および導電体788の上面形状が概略一致する。このような構造は、導電体772、EL層786R、および導電体788を形成したのち、レジストマスクを用いて一括して形成することができる。このようなプロセスは、導電体788をマスクとして、EL層786R、および導電体788を加工することから、セルフアラインパターニングと呼称することもできる。なお、ここではEL層786Rについて説明したが、EL層786G、およびEL層786Bについても同様の構成とすることができる。

[0179]

また、図16Dにおいては、保護層271上に、さらに保護層273が設けられる構造である。例えば、保護層271を被覆性の高い膜を成膜可能な装置（代表的にはALD装置）を用いて形成し、保護層273を保護層271よりも被覆性の低い膜が成膜される装置（代表的には、スパッタリング装置）にて形成することにより、保護層271と、保護層273との間に空隙275を設けることができる。なお、別言すると、空隙275は、EL層786RとEL層786Gとの間、およびEL層786GとEL層786Bとの間に位置する。

[0180]

なお、空隙275は、例えば空気、窒素、酸素、二酸化炭素、および第18族元素（代表的には、ヘリウム、ネオン、アルゴン、キセノン、クリプトン）の中から選ばれるいずれか一または複数を有する。また、空隙275には、例えば保護層273の成膜時に用いる気体が含まれる場合がある。例えば、スパッタリング法により保護層273を成膜する場合、空隙275には上記の第18族元素のいずれか一または複数が含まれる場合がある。なお、空隙275に気体が含まれる場合、ガスクロマトグラフィー法により気体の同定を行うことができる。または、スパッタリング法により保護層273を成膜する場合、保護層273の膜中にもスパッタリング時に用いたガスが含まれる場合がある。この場合、保護層273をエネルギー分散型X線分析（EDX分析）により解析した際に、アルゴンの元素が検出される場合がある。

[0181]

また、空隙275の屈折率が、保護層271の屈折率より低い場合、EL層786R、EL層78

6 G、またはEL層786 Bから発せられる光が、保護層271と空隙275との界面で反射する。これにより、EL層786 R、EL層786 G、またはEL層786 Bから発せられる光が、隣接する画素に入射することを抑制できる場合がある。これにより、近隣画素からの異なる発光色の混入が抑制できるため、表示装置の表示品位を高めることができる。

[0182]

なお、図16Dに示す構成の場合、発光素子61 Rと発光素子61 Gとの間の領域、または、発光素子61 Gと発光素子61 Bとの間の領域（以下では、単に発光素子間の距離とする）を狭くすることができる。具体的には、発光素子間の距離を、1 μ m以下、好ましくは500 nm以下、さらに好ましくは、200 nm以下、100 nm以下、90 nm以下、70 nm以下、50 nm以下、30 nm以下、20 nm以下、15 nm以下、または10 nm以下とすることができる。別言すると、EL層786 Rの側面とEL層786 Gの側面との間隔、またはEL層786 Gの側面とEL層786 Bの側面との間隔が1 μ m以下の領域を有し、好ましくは0.5 μ m（500 nm）以下の領域を有し、さらに好ましくは100 nm以下の領域を有する。

[0183]

また、例えば、空隙275が気体を有する場合、図16Dに示す構成を、エア・アイソレーション構造と呼称することができる。エア・アイソレーション構造を有することで、発光素子の間を素子分離しつつ、且つ各発光素子からの光の混色またはクロストークを抑制できる。

[0184]

また、空隙275を充填材で埋めてもよい。充填材としては、エポキシ樹脂、アクリル樹脂、シリコーン樹脂、フェノール樹脂、ポリイミド樹脂、イミド樹脂、PVC（ポリビニルクロライド）樹脂、PVB（ポリビニルブチラル）樹脂、EVA（エチレンビニルアセテート）樹脂が挙げられる。また、充填材として、フォトレジストを用いてもよい。充填材として用いるフォトレジストは、ポジ型のフォトレジストであってもよいし、ネガ型のフォトレジストであってもよい。

[0185]

また、空隙275を充填材により埋める場合、無機絶縁材料と、有機絶縁材料と、を組み合わせると好適である。具体的には、酸化アルミニウムと、当該酸化アルミニウム上のフォトレジストとを設ける積層構造があげられる。なお、上述の酸化アルミニウムとしては、ALD法を用いて形成すると、被覆性を高めることができるため好適である。

[0186]

また、上述の白色発光デバイス（シングル構造またはタンデム構造）と、SBS構造の発光デバイスと、を比較した場合、SBS構造の発光デバイスは、白色発光デバイスよりも消費電力を低くすることができる。消費電力を低く抑えたい場合は、SBS構造の発光デバイスを用いると好適である。一方で、白色発光デバイスは、製造プロセスがSBS構造の発光デバイスよりも簡単であるため、製造コストを低くすることができる、又は製造歩留まりを高くすることができるため、好適である。

[0187]

図17Aには、上記とは異なる例を示している。具体的には、図17Aに示す構成は、図16Dに示す構成と、絶縁層251の構成が異なる。絶縁層251は、発光素子61 R、発光素子61 G、および発光素子61 Bの加工の際に、上面の一部が削れ、凹部を有する。また、当該凹部には、保護層271が形成される。別言すると、断面視において、導電体772の下面よりも保護層271

の下面の方が下に位置する領域を有する。当該領域を有することで、下方から発光素子 6 1 R、発光素子 6 1 G、および発光素子 6 1 B に入り込みうる不純物（代表的には、水）を好適に抑制することができる。なお、上記の凹部としては、発光素子 6 1 R、発光素子 6 1 G、および発光素子 6 1 B の加工の際に各発光素子の側面に付着しうる不純物（残渣物ともいう）をウェットエッチングにより除去する際に形成されうる。上記の残渣物を除去したのち、各発光素子の側面を保護層 2 7 1 で覆うことにより、信頼性の高い表示装置とすることができる。

[0188]

また、図 1 7 B には、上記とは異なる例を示している。具体的には、図 1 7 B に示す構成は、図 1 7 A に示す構成に加え、絶縁層 2 7 6 と、マイクロレンズアレイ 2 7 7 と、を有する。絶縁層 2 7 6 は、接着層としての機能を有する。なお、絶縁層 2 7 6 の屈折率がマイクロレンズアレイ 2 7 7 の屈折率よりも低い場合、マイクロレンズアレイ 2 7 7 は、発光素子 6 1 R、発光素子 6 1 G、および発光素子 6 1 B から発せられる光を集光することができる。これにより、表示装置の光取り出し効率を高めることができる。特に、使用者が表示装置の表示面の正面から当該表示面を見る場合において、明るい画像を視認することができ、好適である。なお、絶縁層 2 7 6 としては、紫外線硬化型の光硬化型接着剤、反応硬化型接着剤、熱硬化型接着剤、嫌気型接着剤の各種硬化型接着剤を用いることができる。これら接着剤としてはエポキシ樹脂、アクリル樹脂、シリコーン樹脂、フェノール樹脂、ポリイミド樹脂、イミド樹脂、PVC（ポリビニルクロライド）樹脂、PVB（ポリビニルブチラル）樹脂、EVA（エチレンビニルアセテート）樹脂が挙げられる。特に、エポキシ樹脂の透湿性が低い材料が好ましい。また、二液混合型の樹脂を用いてもよい。また、接着シートを用いてもよい。

[0189]

また、図 1 7 C には、上記とは異なる例を示している。具体的には、図 1 7 C に示す構成は、図 1 7 A に示す構成における発光素子 6 1 R、発光素子 6 1 G、および発光素子 6 1 B に替えて、3つの発光素子 6 1 W を有する。また、3つの発光素子 6 1 W の上方に絶縁層 2 7 6 を有し、絶縁層 2 7 6 の上方に着色層 2 6 4 R、着色層 2 6 4 G、および着色層 2 6 4 B を有する。具体的には、左の発光素子 6 1 W と重なる位置に赤色の光を透過する着色層 2 6 4 R が設けられ、中央の発光素子 6 1 W 重なる位置に緑色の光を透過する着色層 2 6 4 G が設けられ、右の発光素子 6 1 W 重なる位置に青色の光を透過する着色層 2 6 4 B が設けられている。これにより、半導体装置はカラーの画像を表示することができる。図 1 7 C に示す構成は、図 1 6 C に示す構成の変形例でもある。

[0190]

また、図 1 7 D には、上記とは異なる例を示している。具体的には、図 1 7 D に示す構成は、保護層 2 7 1 が導電体 7 7 2 および EL 層 7 8 6 の側面に隣接して設けられている。また、導電体 7 8 8 は、各発光素子に共通な一続きの層として設けられている。また、図 1 7 D に示す構成では、空隙 2 7 5 が充填材で埋められていることが好ましい。

[0191]

発光素子 6 1 に微小光共振器（マイクロキャビティ）構造を付与することにより発光色の色純度を高めることができる。発光素子 6 1 にマイクロキャビティ構造を付与するには、導電体 7 7 2 と導電体 7 8 8 間の距離 d と EL 層 7 8 6 の屈折率 n の積（光学距離）が、波長 λ の 2 分の 1 の m 倍（ m は 1 以上の整数）になるように構成すればよい。距離 d は数式 1 で求めることができる。

[0192]

$d = m \times \lambda / (2 \times n) \quad \dots \quad \text{数式 1。}$

[0193]

数式 1 より、マイクロキャビティ構造の発光素子 61 は、発光する光の波長（発光色）に応じて距離 d が決定される。距離 d は、EL 層 786 の厚さに相当する。よって、EL 層 786G は EL 層 786B よりも厚く設けられ、EL 層 786R は EL 層 786G よりも厚く設けられる場合がある。

[0194]

なお、厳密には、距離 d は、反射電極として機能する導電体 772 における反射領域から半透過・半反射電極として機能する導電体 788 における反射領域までの距離である。例えば、導電体 772 が銀と透明導電膜である ITO の積層であり、ITO が EL 層 786 側にある場合、ITO の膜厚を調整することで発光色に応じた距離 d を設定できる。すなわち、EL 層 786R、EL 層 786G、および EL 層 786B の厚さが同じであっても、該 ITO の厚さを変えることで、発光色に適した距離 d を得ることができる。

[0195]

しかしながら、導電体 772 および導電体 788 における反射領域の位置を厳密に決定することが困難な場合がある。この場合、導電体 772 と導電体 788 の任意の位置を反射領域と仮定することで、十分にマイクロキャビティの効果を得ることができるものとする。

[0196]

発光素子 61 は、正孔輸送層、正孔輸送層、発光層、電子輸送層、電子注入層により構成される。発光素子 61 の詳細な構成例については、他の実施の形態で説明する。マイクロキャビティ構造において光の取り出し効率を高めるため、反射電極として機能する導電体 772 から発光層までの光学距離を $\lambda/4$ の奇数倍にすることが好ましい。当該光学距離を実現するため、発光素子 61 を構成する各層の厚さを適宜調整することが好ましい。

[0197]

また、光を導電体 788 側から射出する場合は、導電体 788 の反射率が透過率よりも大きいことが好ましい。導電体 788 の光の透過率を好ましくは 2% 以上 50% 以下、より好ましくは 2% 以上 30% 以下、さらに好ましくは 2% 以上 10% 以下にするとよい。導電体 788 の透過率を小さく（反射率を大きく）することで、マイクロキャビティの効果を高めることができる。

[0198]

本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態に示した構成と適宜組み合わせて用いることができる。

[0199]

（実施の形態 5）

本実施の形態では、本発明の一態様に係る半導体装置に用いることができるトランジスタについて説明する。

[0200]

<トランジスタの構成例>

図 18A、図 18B、および図 18C は、本発明の一態様に係る半導体装置に用いることができるトランジスタ 200、およびトランジスタ 200 周辺の上面図および断面図である。本発明の一態様に係る半導体装置に、トランジスタ 200 を適用することができる。例えば、層 30 が備えるトランジスタに用いることができる。

[0201]

図18Aは、トランジスタ200の上面図である。また、図18B、および図18Cは、トランジスタ200の断面図である。ここで、図18Bは、図18AにA1-A2の一点鎖線で示す部位の断面図であり、トランジスタ200のチャネル長方向の断面図でもある。また、図18Cは、図18AにA3-A4の一点鎖線で示す部位の断面図であり、トランジスタ200のチャネル幅方向の断面図でもある。なお、図18Aの上面図では、図の明瞭化のために一部の要素を省いて図示している。

[0202]

図18に示すように、トランジスタ200は、基板（図示しない。）の上に配置された金属酸化物231aと、金属酸化物231aの上に配置された金属酸化物231bと、金属酸化物231bの上に、互いに離隔して配置された導電体242a、および導電体242bと、導電体242aおよび導電体242b上に配置され、導電体242aと導電体242bの間に開口が形成された絶縁体279と、開口の中に配置された導電体260と、金属酸化物231b、導電体242a、導電体242b、および絶縁体279と、導電体260と、の間に配置された絶縁体250と、金属酸化物231b、導電体242a、導電体242b、および絶縁体279と、絶縁体250と、の間に配置された金属酸化物231cと、を有する。ここで、図18Bおよび図18Cに示すように、導電体260の上面は、絶縁体250、絶縁体254、金属酸化物231c、および絶縁体279の上面と略一致することが好ましい。なお、以下において、金属酸化物231a、金属酸化物231b、および金属酸化物231cをまとめて金属酸化物231という場合がある。

[0203]

図18に示すトランジスタ200では、導電体242aおよび導電体242bの導電体260側の側面が、概略垂直な形状を有している。なお、図18に示すトランジスタ200は、これに限られるものではなく、導電体242aおよび導電体242bの側面と底面がなす角が、 10° 以上 80° 以下、好ましくは、 30° 以上 60° 以下としてもよい。また、導電体242aおよび導電体242bの対向する側面が、複数の面を有していてもよい。

[0204]

図18に示すように、絶縁体224、金属酸化物231a、金属酸化物231b、導電体242a、導電体242b、および金属酸化物231cと、絶縁体279と、の間に絶縁体254が配置されることが好ましい。ここで、絶縁体254は、図18Bおよび図18Cに示すように、金属酸化物231cの側面、導電体242aの上面と側面、導電体242bの上面と側面、金属酸化物231aおよび金属酸化物231bの側面、並びに絶縁体224の上面に接することが好ましい。

[0205]

なお、トランジスタ200では、チャネルが形成される領域（以下、チャネル形成領域ともいう。）と、その近傍において、金属酸化物231a、金属酸化物231b、および金属酸化物231cの3層を積層する構成について示しているが、本発明はこれに限られるものではない。例えば、金属酸化物231bと金属酸化物231cの2層構造、または4層以上の積層構造を設ける構成にしてもよい。また、トランジスタ200では、導電体260を2層の積層構造として示しているが、本発明はこれに限られるものではない。例えば、導電体260が、単層構造であってもよいし、3層以上の積層構造であってもよい。また、金属酸化物231a、金属酸化物231b、および金属酸化物231cのそれぞれが2層以上の積層構造を有していてもよい。

[0206]

例えば、金属酸化物 2 3 1 c が第 1 の金属酸化物と、第 1 の金属酸化物上の第 2 の金属酸化物からなる積層構造を有する場合、第 1 の金属酸化物は、金属酸化物 2 3 1 b と同様の組成を有し、第 2 の金属酸化物は、金属酸化物 2 3 1 a と同様の組成を有することが好ましい。

[0207]

ここで、導電体 2 6 0 は、トランジスタのゲート電極として機能し、導電体 2 4 2 a および導電体 2 4 2 b は、それぞれソース電極またはドレイン電極として機能する。上記のように、導電体 2 6 0 は、絶縁体 2 7 9 の開口、および導電体 2 4 2 a と導電体 2 4 2 b に挟まれた領域に埋め込まれるように形成される。ここで、導電体 2 6 0、導電体 2 4 2 a および導電体 2 4 2 b の配置は、絶縁体 2 7 9 の開口に対して、自己整合的に選択される。つまり、トランジスタ 2 0 0 において、ゲート電極を、ソース電極とドレイン電極の間に、自己整合的に配置させることができる。よって、導電体 2 6 0 を位置合わせのマージンを設けることなく形成することができるため、トランジスタ 2 0 0 の占有面積の縮小を図ることができる。これにより、表示装置を高精細にすることができる。また、表示装置を狭額縁にすることができる。

[0208]

図 1 8 に示すように、導電体 2 6 0 は、絶縁体 2 5 0 の内側に設けられた導電体 2 6 0 a と、導電体 2 6 0 a の内側に埋め込まれるように設けられた導電体 2 6 0 b と、を有することが好ましい。

[0209]

トランジスタ 2 0 0 は、基板（図示しない。）の上に配置された絶縁体 2 1 4 と、絶縁体 2 1 4 の上に配置された絶縁体 2 1 6 と、絶縁体 2 1 6 に埋め込まれるように配置された導電体 2 0 5 と、絶縁体 2 1 6 と導電体 2 0 5 の上に配置された絶縁体 2 2 2 と、絶縁体 2 2 2 の上に配置された絶縁体 2 2 4 と、を有することが好ましい。絶縁体 2 2 4 の上に金属酸化物 2 3 1 a が配置されることが好ましい。

[0210]

トランジスタ 2 0 0 の上に、層間膜として機能する絶縁体 2 7 4、および絶縁体 2 8 1 が配置されることが好ましい。ここで、絶縁体 2 7 4 は、導電体 2 6 0、絶縁体 2 5 0、絶縁体 2 5 4、金属酸化物 2 3 1 c、および絶縁体 2 7 9 の上面に接して配置されることが好ましい。

[0211]

絶縁体 2 2 2、絶縁体 2 5 4、および絶縁体 2 7 4 は、水素（例えば、水素原子、水素分子）の少なくとも一の拡散を抑制する機能を有することが好ましい。例えば、絶縁体 2 2 2、絶縁体 2 5 4、および絶縁体 2 7 4 は、絶縁体 2 2 4、絶縁体 2 5 0、および絶縁体 2 7 9 より水素透過性が低いことが好ましい。また、絶縁体 2 2 2、および絶縁体 2 5 4 は、酸素（例えば、酸素原子、酸素分子）の少なくとも一の拡散を抑制する機能を有することが好ましい。例えば、絶縁体 2 2 2、および絶縁体 2 5 4 は、絶縁体 2 2 4、絶縁体 2 5 0、および絶縁体 2 7 9 より酸素透過性が低いことが好ましい。

[0212]

ここで、絶縁体 2 2 4、金属酸化物 2 3 1、および絶縁体 2 5 0 は、絶縁体 2 7 9 および絶縁体 2 8 1 と、絶縁体 2 5 4、および絶縁体 2 7 4 によって隔離されている。ゆえに、絶縁体 2 2 4、金属酸化物 2 3 1、および絶縁体 2 5 0 に、絶縁体 2 7 9 および絶縁体 2 8 1 に含まれる水素の不純物および過剰な酸素が混入することを抑制できる。

[0213]

トランジスタ 200 と電氣的に接続し、プラグとして機能する導電体 245 a、および導電体 245 b が設けられることが好ましい。なお、プラグとして機能する導電体 245 a、245 b の側面に接して絶縁体（絶縁体 241 a、および絶縁体 241 b）が設けられる。つまり、絶縁体 254、絶縁体 279、絶縁体 274、および絶縁体 281 の開口の内壁に接して絶縁体 241 a、241 b が設けられる。また、絶縁体 241 a、241 b の側面に接して導電体 245 a、245 b の第 1 の導電体が設けられ、さらに内側に導電体 245 a、245 b の第 2 の導電体が設けられる構成にしてもよい。ここで、導電体 245 a、245 b の上面の高さと、絶縁体 281 の上面の高さは同程度にできる。なお、トランジスタ 200 では、導電体 245 a、245 b の第 1 の導電体および導電体 245 a、245 b の第 2 の導電体を積層する構成について示しているが、本発明はこれに限られるものではない。例えば、導電体 245 a、245 b を単層、または 3 層以上の積層構造として設ける構成にしてもよい。構造体が積層構造を有する場合、形成順に序数を付与し、区別する場合がある。

[0214]

トランジスタ 200 は、チャネル形成領域を含む金属酸化物 231（金属酸化物 231 a、金属酸化物 231 b、および金属酸化物 231 c）に、酸化物半導体として機能する金属酸化物（以下、酸化物半導体ともいう。）を用いることが好ましい。例えば、金属酸化物 231 のチャネル形成領域となる金属酸化物として、バンドギャップが 2 eV 以上、好ましくは 2.5 eV 以上のものを用いることが好ましい。

[0215]

上記金属酸化物として、少なくともインジウム（In）または亜鉛（Zn）を含むことが好ましい。特に、インジウム（In）および亜鉛（Zn）を含むことが好ましい。また、これらに加えて、元素 M が含まれていることが好ましい。元素 M として、アルミニウム（Al）、ガリウム（Ga）、イットリウム（Y）、スズ（Sn）、ホウ素（B）、チタン（Ti）、鉄（Fe）、ニッケル（Ni）、ゲルマニウム（Ge）、ジルコニウム（Zr）、モリブデン（Mo）、ランタン（La）、セリウム（Ce）、ネオジム（Nd）、ハフニウム（Hf）、タンタル（Ta）、タングステン（W）、マグネシウム（Mg）またはコバルト（Co）の一以上を用いることができる。特に、元素 M は、アルミニウム（Al）、ガリウム（Ga）、イットリウム（Y）、またはスズ（Sn）の一以上とすることが好ましい。また、元素 M は、ガリウム（Ga）およびスズ（Sn）のいずれか一方または双方を有することがさらに好ましい。

[0216]

また、図 18 B に示すように、金属酸化物 231 b は、導電体 242 a および導電体 242 b と重ならない領域の膜厚が、導電体 242 a および導電体 242 b と重なる領域の膜厚より薄くなる場合がある。これは、導電体 242 a および導電体 242 b を形成する際に、金属酸化物 231 b の上面の一部を除去することにより形成される。金属酸化物 231 b の上面には、導電体 242 a および導電体 242 b となる導電膜を成膜した際に、当該導電膜との界面近傍に抵抗の低い領域が形成される場合がある。このように、金属酸化物 231 b の上面の導電体 242 a と導電体 242 b の間に位置する、抵抗の低い領域を除去することにより、当該領域にチャネルが形成されることを防ぐことができる。

[0217]

本発明の一態様により、サイズが小さいトランジスタを有し、精細度が高い表示装置を提供するこ

とができる。または、オン電流が大きいトランジスタを有し、輝度が高い表示装置を提供することができる。または、動作が速いトランジスタを有し、動作が速い表示装置を提供することができる。または、電気特性が安定したトランジスタを有し、信頼性が高い表示装置を提供することができる。または、オフ電流が小さいトランジスタを有し、消費電力が低い表示装置を提供することができる。

[0218]

本発明の一態様である表示装置に用いることができるトランジスタ200の詳細な構成について説明する。

[0219]

導電体205は、金属酸化物231、および導電体260と、重なる領域を有するように配置する。また、導電体205は、絶縁体216に埋め込まれて設けることが好ましい。

[0220]

導電体205は、導電体205a、導電体205b、および導電体205cを有する。導電体205aは、絶縁体216に設けられた開口の底面および側壁に接して設けられる。導電体205bは、導電体205aに形成された凹部に埋め込まれるように設けられる。ここで、導電体205bの上面は、導電体205aの上面および絶縁体216の上面より低くなる。導電体205cは、導電体205bの上面、および導電体205aの側面に接して設けられる。ここで、導電体205cの上面の高さは、導電体205aの上面の高さおよび絶縁体216の上面の高さと略一致する。つまり、導電体205bは、導電体205aおよび導電体205cに包み込まれる構成になる。

[0221]

導電体205aおよび導電体205cは、水素原子、水素分子、水分子、窒素原子、窒素分子、酸化窒素分子(N_2O 、 NO 、 NO_2)、銅原子の不純物の拡散を抑制する機能を有する導電性材料を用いることが好ましい。または、酸素（例えば、酸素原子、酸素分子の少なくとも一）の拡散を抑制する機能を有する導電性材料を用いることが好ましい。

[0222]

導電体205aおよび導電体205cに、水素の拡散を低減する機能を有する導電性材料を用いることにより、導電体205bに含まれる水素で代表される不純物が、絶縁体224を介して、金属酸化物231に拡散することを抑制できる。また、導電体205aおよび導電体205cに、酸素の拡散を抑制する機能を有する導電性材料を用いることにより、導電体205bが酸化されて導電率が低下することを抑制することができる。酸素の拡散を抑制する機能を有する導電性材料としては、例えば、チタン、窒化チタン、タンタル、窒化タンタル、ルテニウム、酸化ルテニウムを用いることが好ましい。したがって、導電体205aとしては、上記導電性材料を単層または積層とすればよい。例えば、導電体205aは、窒化チタンを用いればよい。

[0223]

また、導電体205bは、タングステン、銅、またはアルミニウムを主成分とする導電性材料を用いることが好ましい。例えば、導電体205bは、タングステンを用いればよい。

[0224]

ここで、導電体260は、第1のゲート（トップゲートともいう。）電極として機能する場合がある。また、導電体205は、第2のゲート（ボトムゲートともいう。）電極として機能する場合がある。その場合、導電体205に印加する電位を、導電体260に印加する電位と連動させず、独立して変化させることで、トランジスタ200の V_{th} を制御することができる。特に、導電体20

5に負の電位を印加することにより、トランジスタ200の V_{th} を0Vより大きくし、オフ電流を小さくすることが可能となる。したがって、導電体205に負の電位を印加したほうが、印加しない場合よりも、導電体260に印加する電位が0Vのときのドレイン電流を小さくすることができる。

[0225]

導電体205は、金属酸化物231におけるチャネル形成領域よりも、大きく設けるとよい。特に、図18Cに示すように、導電体205は、金属酸化物231のチャネル幅方向と交わる端部よりも外側の領域においても、延伸していることが好ましい。つまり、金属酸化物231のチャネル幅方向における側面の外側において、導電体205と、導電体260とは、絶縁体を介して重畳していることが好ましい。

[0226]

上記構成を有することで、第1のゲート電極としての機能を有する導電体260の電界と、第2のゲート電極としての機能を有する導電体205の電界によって、金属酸化物231のチャネル形成領域を電氣的に取り囲むことができる。

[0227]

図18Cに示すように、導電体205は延伸させて、配線としても機能させている。ただし、これに限られることなく、導電体205の下に、配線として機能する導電体を設ける構成にしてもよい。

[0228]

絶縁体214は、水または水素で代表される不純物が、基板側からトランジスタ200に混入することを抑制するバリア絶縁膜として機能することが好ましい。したがって、絶縁体214は、水素原子、水素分子、水分子、窒素原子、窒素分子、酸化窒素分子(N_2O 、 NO 、 NO_2)、銅原子で代表される不純物の拡散を抑制する機能を有する(上記不純物が透過しにくい。)絶縁性材料を用いることが好ましい。または、酸素(例えば、酸素原子、酸素分子)の少なくとも一の拡散を抑制する機能を有する(上記酸素が透過しにくい。)絶縁性材料を用いることが好ましい。

[0229]

例えば、絶縁体214として、酸化アルミニウムまたは窒化シリコンを用いることが好ましい。これにより、水または水素で代表される不純物が絶縁体214よりも基板側からトランジスタ200側に拡散することを抑制できる。または、絶縁体224に含まれる酸素が、絶縁体214よりも基板側に、拡散することを抑制できる。

[0230]

層間膜として機能する絶縁体216、絶縁体279、および絶縁体281は、絶縁体214よりも誘電率が低いことが好ましい。誘電率が低い材料を層間膜とすることで、配線間に生じる寄生容量を低減することができる。例えば、絶縁体216、絶縁体279、および絶縁体281として、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化酸化シリコン、窒化シリコン、フッ素を添加した酸化シリコン、炭素を添加した酸化シリコン、炭素および窒素を添加した酸化シリコン、または空孔を有する酸化シリコンを適宜用いればよい。

[0231]

絶縁体222および絶縁体224は、ゲート絶縁体としての機能を有する。

[0232]

ここで、金属酸化物231と接する絶縁体224は、加熱により酸素を脱離することが好ましい。

本明細書では、加熱により離脱する酸素を過剰酸素と呼ぶことがある。例えば、絶縁体 224 は、酸化シリコンまたは酸化窒化シリコンを適宜用いればよい。酸素を含む絶縁体を金属酸化物 231 に接して設けることにより、金属酸化物 231 中の酸素欠損を低減し、トランジスタ 200 の信頼性を向上させることができる。

[0233]

絶縁体 224 として、具体的には、加熱により一部の酸素が脱離する酸化物材料を用いることが好ましい。加熱により酸素を脱離する酸化物とは、TDS (Thermal Desorption Spectroscopy) 分析にて、酸素原子に換算した酸素の脱離量が $1.0 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以上、好ましくは $1.0 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以上、さらに好ましくは $2.0 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以上、または $3.0 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 以上である酸化物膜である。なお、上記 TDS 分析時における膜の表面温度は、 100°C 以上 700°C 以下、または 100°C 以上 400°C 以下の範囲が好ましい。

[0234]

図 18C に示すように、絶縁体 224 は、絶縁体 254 と重ならず、且つ金属酸化物 231b と重ならない領域の膜厚が、それ以外の領域の膜厚より薄くなる場合がある。絶縁体 224 において、絶縁体 254 と重ならず、且つ金属酸化物 231b と重ならない領域の膜厚は、上記酸素を十分に拡散できる膜厚であることが好ましい。

[0235]

絶縁体 222 は、絶縁体 214 と同様に、水または水素で代表される不純物が、基板側からトランジスタ 200 に混入することを抑制するバリア絶縁膜として機能することが好ましい。例えば、絶縁体 222 は、絶縁体 224 より水素透過性が低いことが好ましい。絶縁体 222、絶縁体 254、および絶縁体 274 によって、絶縁体 224、金属酸化物 231、および絶縁体 250 を囲むことにより、外方から水または水素で代表される不純物がトランジスタ 200 に侵入することを抑制することができる。

[0236]

さらに、絶縁体 222 は、酸素（例えば、酸素原子、酸素分子）の少なくとも一の拡散を抑制する機能を有する（上記酸素が透過しにくい。）ことが好ましい。例えば、絶縁体 222 は、絶縁体 224 より酸素透過性が低いことが好ましい。絶縁体 222 が、酸素および不純物の拡散を抑制する機能を有することで、金属酸化物 231 が有する酸素が、基板側へ拡散することを低減でき、好ましい。また、導電体 205 が、絶縁体 224 および金属酸化物 231 が有する酸素と反応することを抑制することができる。

[0237]

絶縁体 222 は、絶縁性材料であるアルミニウムおよびハフニウム的一方または双方の酸化物を含む絶縁体を用いるとよい。アルミニウムおよびハフニウム的一方または双方の酸化物を含む絶縁体として、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、アルミニウムおよびハフニウムを含む酸化物（ハフニウムアルミネート）を用いることが好ましい。このような材料を用いて絶縁体 222 を形成した場合、絶縁体 222 は、金属酸化物 231 からの酸素の放出、ならびに、トランジスタ 200 の周辺部から金属酸化物 231 への水素で代表される不純物の混入を抑制する層として機能する。

[0238]

または、これらの絶縁体に、例えば、酸化アルミニウム、酸化ビスマス、酸化ゲルマニウム、酸化

ニオブ、酸化シリコン、酸化チタン、酸化タングステン、酸化イットリウム、酸化ジルコニウムを添加してもよい。またはこれらの絶縁体を窒化処理してもよい。上記の絶縁体に酸化シリコン、酸化窒化シリコンまたは窒化シリコンを積層して用いてもよい。

[0239]

絶縁体222は、例えば、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、酸化タンタル、酸化ジルコニウム、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT)、チタン酸ストロンチウム(SrTiO_3)または(Ba , Sr) TiO_3 (BST)のいわゆるh i g h-k材料を含む絶縁体を単層または積層で用いてもよい。トランジスタの微細化、および高集積化が進むと、ゲート絶縁体の薄膜化により、リーク電流の問題が生じる場合がある。ゲート絶縁体として機能する絶縁体にh i g h-k材料を用いることで、物理膜厚を保ちながら、トランジスタ動作時のゲート電位の低減が可能となる。

[0240]

なお、絶縁体222、および絶縁体224が、2層以上の積層構造を有していてもよい。その場合、同じ材料からなる積層構造に限定されず、異なる材料からなる積層構造でもよい。例えば、絶縁体222の下に絶縁体224と同様の絶縁体を設ける構成にしてもよい。

[0241]

金属酸化物231は、金属酸化物231aと、金属酸化物231a上の金属酸化物231bと、金属酸化物231b上の金属酸化物231cと、を有する。金属酸化物231b下に金属酸化物231aを有することで、金属酸化物231aよりも下方に形成された構造物から、金属酸化物231bへの不純物の拡散を抑制することができる。また、金属酸化物231b上に金属酸化物231cを有することで、金属酸化物231cよりも上方に形成された構造物から、金属酸化物231bへの不純物の拡散を抑制することができる。

[0242]

なお、金属酸化物231は、各金属原子の原子数比が異なる複数の酸化物層の積層構造を有することが好ましい。例えば、金属酸化物231が、少なくともインジウム(In)と、元素Mと、を含む場合、金属酸化物231aを構成する全元素の原子数に対する、金属酸化物231aに含まれる元素Mの原子数の割合が、金属酸化物231bを構成する全元素の原子数に対する、金属酸化物231bに含まれる元素Mの原子数の割合より高いことが好ましい。また、金属酸化物231aに含まれる元素Mの、Inに対する原子数比が、金属酸化物231bに含まれる元素Mの、Inに対する原子数比より大きいことが好ましい。ここで、金属酸化物231cは、金属酸化物231aまたは金属酸化物231bに用いることができる金属酸化物を用いることができる。

[0243]

金属酸化物231aおよび金属酸化物231cの伝導帯下端のエネルギーが、金属酸化物231bの伝導帯下端のエネルギーより高くなることが好ましい。また、言い換えると、金属酸化物231aおよび金属酸化物231cの電子親和力が、金属酸化物231bの電子親和力より小さいことが好ましい。この場合、金属酸化物231cは、金属酸化物231aに用いることができる金属酸化物を用いることが好ましい。具体的には、金属酸化物231cを構成する全元素の原子数に対する、金属酸化物231cに含まれる元素Mの原子数の割合が、金属酸化物231bを構成する全元素の原子数に対する、金属酸化物231bに含まれる元素Mの原子数の割合より高いことが好ましい。また、金属酸化物231cに含まれる元素Mの、Inに対する原子数比が、金属酸化物231bに含まれる元素Mの、Inに対する原子数比より大きいことが好ましい。

[0244]

ここで、金属酸化物231a、金属酸化物231b、および金属酸化物231cの接合部において、伝導帯下端のエネルギー準位はなだらかに変化する。換言すると、金属酸化物231a、金属酸化物231b、および金属酸化物231cの接合部における伝導帯下端のエネルギー準位は、連続的に変化または連続接合するともいうことができる。このようにするためには、金属酸化物231aと金属酸化物231bとの界面、および金属酸化物231bと金属酸化物231cとの界面において形成される混合層の欠陥準位密度を低くするとよい。

[0245]

具体的には、金属酸化物231aと金属酸化物231b、金属酸化物231bと金属酸化物231cが、酸素以外に共通の元素を有する（主成分とする。）ことで、欠陥準位密度が低い混合層を形成することができる。例えば、金属酸化物231bがIn-Ga-Zn酸化物の場合、金属酸化物231aおよび金属酸化物231cとして、In-Ga-Zn酸化物、Ga-Zn酸化物、酸化ガリウムを用いてもよい。また、金属酸化物231cを積層構造としてもよい。例えば、In-Ga-Zn酸化物と、当該In-Ga-Zn酸化物上のGa-Zn酸化物との積層構造、またはIn-Ga-Zn酸化物と、当該In-Ga-Zn酸化物上の酸化ガリウムとの積層構造を用いることができる。別言すると、In-Ga-Zn酸化物と、Inを含まない酸化物との積層構造を、金属酸化物231cとして用いてもよい。

[0246]

具体的には、金属酸化物231aとして、 $\text{In}:\text{Ga}:\text{Zn}=1:3:4$ [原子数比]、または $1:1:0.5$ [原子数比]の金属酸化物を用いればよい。また、金属酸化物231bとして、 $\text{In}:\text{Ga}:\text{Zn}=4:2:3$ [原子数比]、または $3:1:2$ [原子数比]の金属酸化物を用いればよい。また、金属酸化物231cとして、 $\text{In}:\text{Ga}:\text{Zn}=1:3:4$ [原子数比]、 $\text{In}:\text{Ga}:\text{Zn}=4:2:3$ [原子数比]、 $\text{Ga}:\text{Zn}=2:1$ [原子数比]、または $\text{Ga}:\text{Zn}=2:5$ [原子数比]の金属酸化物を用いればよい。また、金属酸化物231cを積層構造とする場合の具体例として、 $\text{In}:\text{Ga}:\text{Zn}=4:2:3$ [原子数比]と、 $\text{Ga}:\text{Zn}=2:1$ [原子数比]との積層構造、 $\text{In}:\text{Ga}:\text{Zn}=4:2:3$ [原子数比]と、 $\text{Ga}:\text{Zn}=2:5$ [原子数比]との積層構造、 $\text{In}:\text{Ga}:\text{Zn}=4:2:3$ [原子数比]と、酸化ガリウムとの積層構造が挙げられる。

[0247]

このとき、キャリアの主たる経路は金属酸化物231bとなる。金属酸化物231a、金属酸化物231cを上記の構成とすることで、金属酸化物231aと金属酸化物231bとの界面、および金属酸化物231bと金属酸化物231cとの界面における欠陥準位密度を低くすることができる。そのため、界面散乱によるキャリア伝導への影響が小さくなり、トランジスタ200は高いオン電流、および高い周波数特性を得ることができる。なお、金属酸化物231cを積層構造とした場合、上記の金属酸化物231bと、金属酸化物231cとの界面における欠陥準位密度を低くする効果に加え、金属酸化物231cが有する構成元素が、絶縁体250側に拡散することを抑制することが期待される。より具体的には、金属酸化物231cを積層構造とし、積層構造の上方にInを含まない酸化物を位置させるため、絶縁体250側に拡散しうるInを抑制することができる。絶縁体250は、ゲート絶縁体として機能するため、Inが拡散した場合、トランジスタの特性不良となる。したがって、金属酸化物231cを積層構造とすることで、信頼性の高い表示装置を提供す

ることが可能となる。

[0248]

金属酸化物231b上には、ソース電極、およびドレイン電極として機能する導電体242a、および導電体242bが設けられる。導電体242aおよび導電体242bとして、アルミニウム、クロム、銅、銀、金、白金、タンタル、ニッケル、チタン、モリブデン、タングステン、ハフニウム、バナジウム、ニオブ、マンガン、マグネシウム、ジルコニウム、ベリリウム、インジウム、ルテニウム、イリジウム、ストロンチウム、ランタンから選ばれた金属元素、または上述した金属元素を成分とする合金か、上述した金属元素を組み合わせた合金を用いることが好ましい。例えば、窒化タンタル、窒化チタン、タングステン、チタンとアルミニウムを含む窒化物、タンタルとアルミニウムを含む窒化物、酸化ルテニウム、窒化ルテニウム、ストロンチウムとルテニウムを含む酸化物、ランタンとニッケルを含む酸化物を用いることが好ましい。また、窒化タンタル、窒化チタン、チタンとアルミニウムを含む窒化物、タンタルとアルミニウムを含む窒化物、酸化ルテニウム、窒化ルテニウム、ストロンチウムとルテニウムを含む酸化物、ランタンとニッケルを含む酸化物は、酸化しにくい導電性材料、または、酸素を吸収しても導電性を維持する材料であるため、好ましい。

[0249]

金属酸化物231と接するように上記導電体242aおよび導電体242bを設けることで、金属酸化物231の導電体242aおよび導電体242b近傍において、酸素濃度が低減する場合がある。また、金属酸化物231の導電体242aおよび導電体242b近傍において、導電体242aおよび導電体242bに含まれる金属と、金属酸化物231の成分とを含む金属化合物層が形成される場合がある。このような場合、金属酸化物231の導電体242aおよび導電体242b近傍の領域において、キャリア濃度が増加し、当該領域は、低抵抗領域となる。

[0250]

ここで、導電体242aと導電体242bの間の領域は、絶縁体279の開口に重畳して形成される。これにより、導電体242aと導電体242bの間に導電体260を自己整合的に配置することができる。

[0251]

絶縁体250は、ゲート絶縁体として機能する。絶縁体250は、金属酸化物231cの上面に接して配置することが好ましい。絶縁体250は、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化酸化シリコン、窒化シリコン、フッ素を添加した酸化シリコン、炭素を添加した酸化シリコン、炭素および窒素を添加した酸化シリコン、空孔を有する酸化シリコンを用いることができる。特に、酸化シリコン、および酸化窒化シリコンは熱に対し安定であるため好ましい。

[0252]

絶縁体250は、絶縁体224と同様に、絶縁体250中の水または水素で代表される不純物濃度が低減されていることが好ましい。絶縁体250の膜厚は、1nm以上20nm以下とするのが好ましい。

[0253]

絶縁体250と導電体260との間に金属酸化物を設けてもよい。当該金属酸化物は、絶縁体250から導電体260への酸素拡散を抑制することが好ましい。これにより、絶縁体250の酸素による導電体260の酸化を抑制することができる。

[0254]

当該金属酸化物は、ゲート絶縁体の一部としての機能を有する場合がある。したがって、絶縁体 250 に酸化シリコンまたは酸化窒化シリコンを用いる場合、当該金属酸化物は、比誘電率が高い *high-k* 材料である金属酸化物を用いることが好ましい。ゲート絶縁体を、絶縁体 250 と当該金属酸化物との積層構造とすることで、熱に対して安定、且つ比誘電率の高い積層構造とすることができる。したがって、ゲート絶縁体の物理膜厚を保持したまま、トランジスタ動作時に印加するゲート電位の低減化が可能となる。また、ゲート絶縁体として機能する絶縁体の等価酸化膜厚 (EOT) の薄膜化が可能となる。

[0255]

具体的には、ハフニウム、アルミニウム、ガリウム、イットリウム、ジルコニウム、タングステン、チタン、タンタル、ニッケル、ゲルマニウム、または、マグネシウムから選ばれた一種、または二種以上が含まれた金属酸化物を用いることができる。特に、アルミニウム、またはハフニウムの一方または双方の酸化物を含む絶縁体である、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、アルミニウムおよびハフニウムを含む酸化物 (ハフニウムアルミネート) を用いることが好ましい。

[0256]

導電体 260 は、図 18 では 2 層構造として示しているが、単層構造でもよいし、3 層以上の積層構造であってもよい。

[0257]

導電体 260a は、上述の、水素原子、水素分子、水分子、窒素原子、窒素分子、酸化窒素分子 (N_2O 、 NO 、 NO_2)、銅原子で代表される不純物の拡散を抑制する機能を有する導電体を用いることが好ましい。または、酸素 (酸素原子、または酸素分子) の拡散を抑制する機能を有する導電性材料を用いることが好ましい。

[0258]

導電体 260a が酸素の拡散を抑制する機能を持つことにより、絶縁体 250 に含まれる酸素により、導電体 260b が酸化して導電率が低下することを抑制することができる。酸素の拡散を抑制する機能を有する導電性材料として、例えば、タンタル、窒化タンタル、ルテニウム、または酸化ルテニウムを用いることが好ましい。

[0259]

導電体 260b は、タングステン、銅、またはアルミニウムを主成分とする導電性材料を用いることが好ましい。また、導電体 260 は、配線としても機能するため、導電性が高い導電体を用いることが好ましい。例えば、タングステン、銅、またはアルミニウムを主成分とする導電性材料を用いることができる。また、導電体 260b は積層構造としてもよく、例えば、チタンまたは窒化チタンと上記導電性材料との積層構造としてもよい。

[0260]

図 18A および図 18C に示すように、金属酸化物 231b の導電体 242a および導電体 242b と重ならない領域、言い換えると、金属酸化物 231 のチャネル形成領域において、金属酸化物 231 の側面が導電体 260 で覆うように配置されている。これにより、第 1 のゲート電極としての機能する導電体 260 の電界を、金属酸化物 231 の側面に作用させやすくなる。よって、トランジスタ 200 のオン電流を増大させ、周波数特性を向上させることができる。

[0261]

絶縁体 254 は、絶縁体 214 と同様に、水または水素で代表される不純物が、絶縁体 279 側か

らトランジスタ 200 に混入することを抑制するバリア絶縁膜として機能することが好ましい。例えば、絶縁体 254 は、絶縁体 224 より水素透過性が低いことが好ましい。さらに、図 18B および図 18C に示すように、絶縁体 254 は、金属酸化物 231c の側面、導電体 242a の上面と側面、導電体 242b の上面と側面、金属酸化物 231a および金属酸化物 231b の側面、並びに絶縁体 224 の上面に接することが好ましい。このような構成にすることで、絶縁体 279 に含まれる水素が、導電体 242a、導電体 242b、金属酸化物 231a、金属酸化物 231b および絶縁体 224 の上面または側面から金属酸化物 231 に侵入することを抑制できる。

[0262]

さらに、絶縁体 254 は、酸素（酸素原子、または酸素分子）の拡散を抑制する機能を有する（上記酸素が透過しにくい。）ことが好ましい。例えば、絶縁体 254 は、絶縁体 279 または絶縁体 224 より酸素透過性が低いことが好ましい。

[0263]

絶縁体 254 は、スパッタリング法を用いて成膜されることが好ましい。絶縁体 254 を、酸素を含む雰囲気中でスパッタリング法を用いて成膜することで、絶縁体 224 の絶縁体 254 と接する領域近傍に酸素を添加することができる。これにより、当該領域から、絶縁体 224 を介して金属酸化物 231 中に酸素を供給することができる。ここで、絶縁体 254 が、上方への酸素の拡散を抑制する機能を有することで、酸素が金属酸化物 231 から絶縁体 279 へ拡散することを防ぐことができる。また、絶縁体 222 が、下方への酸素の拡散を抑制する機能を有することで、酸素が金属酸化物 231 から基板側へ拡散することを防ぐことができる。このようにして、金属酸化物 231 のチャネル形成領域に酸素が供給される。これにより、金属酸化物 231 の酸素欠損を低減し、トランジスタのノーマリーオン化を抑制することができる。

[0264]

絶縁体 254 として、例えば、アルミニウムおよびハフニウム的一方または双方の酸化物を含む絶縁体を成膜するとよい。なお、アルミニウムおよびハフニウム的一方または双方の酸化物を含む絶縁体として、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、アルミニウムおよびハフニウムを含む酸化物（ハフニウムアルミネート）を用いることが好ましい。

[0265]

水素に対してバリア性を有する絶縁体 254 によって、絶縁体 224、絶縁体 250、および金属酸化物 231 が覆うことで、絶縁体 279 は、絶縁体 254 によって、絶縁体 224、金属酸化物 231、および絶縁体 250 と隔離されている。これにより、トランジスタ 200 の外方から水素で代表される不純物が浸入することを抑制できるため、トランジスタ 200 に良好な電気特性および信頼性を与えることができる。

[0266]

絶縁体 279 は、絶縁体 254 を介して、絶縁体 224、金属酸化物 231、導電体 242a、および導電体 242b 上に設けられる。例えば、絶縁体 279 として、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化酸化シリコン、フッ素を添加した酸化シリコン、炭素を添加した酸化シリコン、炭素および窒素を添加した酸化シリコン、または空孔を有する酸化シリコンを有することが好ましい。特に、酸化シリコンおよび酸化窒化シリコンは、熱的に安定であるため好ましい。特に、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、空孔を有する酸化シリコンの材料は、加熱により脱離する酸素を含む領域を容易に形成することができるため好ましい。

[0267]

絶縁体279中の水または水素で代表される不純物濃度が低減されていることが好ましい。また、絶縁体279の上面は、平坦化されていてもよい。

[0268]

絶縁体274は、絶縁体214と同様に、水または水素で代表される不純物が、上方から絶縁体279に混入することを抑制するバリア絶縁膜として機能することが好ましい。絶縁体274として、例えば、絶縁体214、絶縁体254に用いることができる絶縁体を用いればよい。

[0269]

絶縁体274の上に、層間膜として機能する絶縁体281を設けることが好ましい。絶縁体281は、絶縁体224と同様に、膜中の水または水素で代表される不純物濃度が低減されていることが好ましい。

[0270]

絶縁体281、絶縁体274、絶縁体279、および絶縁体254に形成された開口に、導電体245aおよび導電体245bを配置する。導電体245aおよび導電体245bは、導電体260を挟んで対向して設ける。なお、導電体245aおよび導電体245bの上面の高さは、絶縁体281の上面と、同一平面上としてもよい。

[0271]

なお、絶縁体281、絶縁体274、絶縁体279、および絶縁体254の開口の内壁に接して、絶縁体241aが設けられ、その側面に接して導電体245aの第1の導電体が形成されている。当該開口の底部の少なくとも一部には導電体242aが位置しており、導電体245aが導電体242aと接する。同様に、絶縁体281、絶縁体274、絶縁体279、および絶縁体254の開口の内壁に接して、絶縁体241bが設けられ、その側面に接して導電体245bの第1の導電体が形成されている。当該開口の底部の少なくとも一部には導電体242bが位置しており、導電体245bが導電体242bと接する。

[0272]

導電体245aおよび導電体245bは、タングステン、銅、またはアルミニウムを主成分とする導電性材料を用いることが好ましい。また、導電体245aおよび導電体245bは積層構造としてもよい。

[0273]

導電体242a、導電体242bを積層構造とする場合、金属酸化物231a、金属酸化物231b、導電体242a、導電体242b、絶縁体254、絶縁体279、絶縁体274、絶縁体281と接する導電体には、上述の、水または水素で代表される不純物の拡散を抑制する機能を有する導電体を用いることが好ましい。例えば、タンタル、窒化タンタル、チタン、窒化チタン、ルテニウム、または酸化ルテニウムを用いることが好ましい。また、水または水素で代表される不純物の拡散を抑制する機能を有する導電性材料は、単層または積層で用いてもよい。当該導電性材料を用いることで、絶縁体279に添加された酸素が導電体245aおよび導電体245bに吸収されることを抑制できる。また、絶縁体281より上層から水または水素で代表される不純物が、導電体245aおよび導電体245bを通じて金属酸化物231に混入することを抑制できる。

[0274]

絶縁体241aおよび絶縁体241bとして、例えば、絶縁体254に用いることができる絶縁体

を用いればよい。絶縁体 2 4 1 a および絶縁体 2 4 1 b は、絶縁体 2 5 4 に接して設けられるため、絶縁体 2 7 9 から水または水素で代表される不純物が、導電体 2 4 5 a および導電体 2 4 5 b を通じて金属酸化物 2 3 1 に混入することを抑制できる。また、絶縁体 2 7 9 に含まれる酸素が導電体 2 4 5 a および導電体 2 4 5 b に吸収されることを抑制できる。

[0 2 7 5]

図示しないが、導電体 2 4 5 a の上面、および導電体 2 4 5 b の上面に接して配線として機能する導電体を配置してもよい。配線として機能する導電体は、タングステン、銅、またはアルミニウムを主成分とする導電性材料を用いることが好ましい。また、当該導電体は、積層構造としてもよく、例えば、チタンまたは窒化チタンと上記導電性材料との積層としてもよい。当該導電体は、絶縁体に設けられた開口に埋め込むように形成してもよい。

[0 2 7 6]

<トランジスタの構成材料>

トランジスタに用いることができる構成材料について説明する。

[0 2 7 7]

[基板]

トランジスタ 2 0 0 を形成する基板として、例えば、絶縁体基板、半導体基板、または導電体基板を用いればよい。絶縁体基板として、例えば、ガラス基板、石英基板、サファイア基板、安定化ジルコニア基板（イットリア安定化ジルコニア基板）、樹脂基板がある。また、半導体基板として、例えば、シリコン、ゲルマニウムの半導体基板、または炭化シリコン、シリコンゲルマニウム、ヒ化ガリウム、リン化インジウム、酸化亜鉛、酸化ガリウムからなる化合物半導体基板がある。さらには、前述の半導体基板内部に絶縁体領域を有する半導体基板、例えば、SOI（Silicon On Insulator）基板がある。導電体基板として、黒鉛基板、金属基板、合金基板、導電性樹脂基板がある。または、金属の窒化物を有する基板、金属の酸化物を有する基板がある。さらには、絶縁体基板に導電体または半導体が設けられた基板、半導体基板に導電体または絶縁体が設けられた基板、導電体基板に半導体または絶縁体が設けられた基板がある。または、これらの基板に素子が設けられたものを用いてもよい。基板に設けられる素子として、容量素子、抵抗素子、スイッチ素子、発光素子、記憶素子がある。

[0 2 7 8]

[絶縁体]

絶縁体として、絶縁性を有する酸化物、窒化物、酸化窒化物、窒化酸化物、金属酸化物、金属酸化窒化物、金属窒化酸化物がある。

[0 2 7 9]

例えば、トランジスタの微細化、および高集積化が進むと、ゲート絶縁体の薄膜化により、リーク電流の問題が生じる場合がある。ゲート絶縁体として機能する絶縁体に、high-k 材料を用いることで物理膜厚を保ちながら、トランジスタ動作時の低電圧化が可能となる。一方、層間膜として機能する絶縁体には、比誘電率が低い材料を用いることで、配線間に生じる寄生容量を低減することができる。したがって、絶縁体の機能に応じて、材料を選択するとよい。

[0 2 8 0]

比誘電率の高い絶縁体として、酸化ガリウム、酸化ハフニウム、酸化ジルコニウム、アルミニウムおよびハフニウムを有する酸化物、アルミニウムおよびハフニウムを有する酸化窒化物、シリコン

およびハフニウムを有する酸化物、シリコンおよびハフニウムを有する酸化窒化物、またはシリコンおよびハフニウムを有する窒化物がある。

[0281]

比誘電率が低い絶縁体として、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化酸化シリコン、窒化シリコン、フッ素を添加した酸化シリコン、炭素を添加した酸化シリコン、炭素および窒素を添加した酸化シリコン、空孔を有する酸化シリコン、または樹脂がある。

[0282]

酸化物半導体を用いたトランジスタは、水素で代表される不純物および酸素の透過を抑制する機能を有する絶縁体（絶縁体214、絶縁体222、絶縁体254、および絶縁体274）で囲うことによって、トランジスタの電気特性を安定にすることができる。水素で代表される不純物および酸素の透過を抑制する機能を有する絶縁体として、例えば、ホウ素、炭素、窒素、酸素、フッ素、マグネシウム、アルミニウム、シリコン、リン、塩素、アルゴン、ガリウム、ゲルマニウム、イットリウム、ジルコニウム、ランタン、ネオジム、ハフニウム、またはタンタルを含む絶縁体を、単層で、または積層で用いればよい。具体的には、水素で代表される不純物および酸素の透過を抑制する機能を有する絶縁体として、酸化アルミニウム、酸化マグネシウム、酸化ガリウム、酸化ゲルマニウム、酸化イットリウム、酸化ジルコニウム、酸化ランタン、酸化ネオジム、酸化ハフニウム、または酸化タンタルで代表される金属酸化物、窒化アルミニウム、窒化アルミニウムチタン、窒化チタン、窒化酸化シリコンまたは窒化シリコンで代表される金属窒化物を用いることができる。

[0283]

ゲート絶縁体として機能する絶縁体は、加熱により脱離する酸素を含む領域を有する絶縁体であることが好ましい。例えば、加熱により脱離する酸素を含む領域を有する酸化シリコンまたは酸化窒化シリコンを金属酸化物231と接する構造とすることで、金属酸化物231が有する酸素欠損を補償することができる。

[0284]

[導電体]

導電体として、アルミニウム、クロム、銅、銀、金、白金、タンタル、ニッケル、チタン、モリブデン、タングステン、ハフニウム、バナジウム、ニオブ、マンガン、マグネシウム、ジルコニウム、ベリリウム、インジウム、ルテニウム、イリジウム、ストロンチウム、ランタンから選ばれた金属元素、または上述した金属元素を成分とする合金か、上述した金属元素を組み合わせた合金を用いることが好ましい。例えば、窒化タンタル、窒化チタン、タングステン、チタンとアルミニウムを含む窒化物、タンタルとアルミニウムを含む窒化物、酸化ルテニウム、窒化ルテニウム、ストロンチウムとルテニウムを含む酸化物、ランタンとニッケルを含む酸化物を用いることが好ましい。また、窒化タンタル、窒化チタン、チタンとアルミニウムを含む窒化物、タンタルとアルミニウムを含む窒化物、酸化ルテニウム、窒化ルテニウム、ストロンチウムとルテニウムを含む酸化物、ランタンとニッケルを含む酸化物は、酸化しにくい導電性材料、または、酸素を吸収しても導電性を維持する材料であるため、好ましい。また、リンで代表される不純物元素を含有させた多結晶シリコンに代表される、電気伝導度が高い半導体、ニッケルシリサイドのシリサイドを用いてもよい。

[0285]

上記の材料で形成される導電体を複数積層して用いてもよい。例えば、前述した金属元素を含む材料と、酸素を含む導電性材料と、を組み合わせた積層構造としてもよい。また、前述した金属元素

を含む材料と、窒素を含む導電性材料と、を組み合わせた積層構造としてもよい。また、前述した金属元素を含む材料と、酸素を含む導電性材料と、窒素を含む導電性材料と、を組み合わせた積層構造としてもよい。

[0286]

なお、トランジスタのチャネル形成領域に金属酸化物を用いる場合において、ゲート電極として機能する導電体には、前述した金属元素を含む材料と、酸素を含む導電性材料と、を組み合わせた積層構造を用いることが好ましい。この場合は、酸素を含む導電性材料をチャネル形成領域側に設けるとよい。酸素を含む導電性材料をチャネル形成領域側に設けることで、当該導電性材料から離脱した酸素がチャネル形成領域に供給されやすくなる。

[0287]

特に、ゲート電極として機能する導電体として、チャネルが形成される金属酸化物に含まれる金属元素および酸素を含む導電性材料を用いることが好ましい。また、前述した金属元素および窒素を含む導電性材料を用いてもよい。例えば、窒化チタン、窒化タンタルの窒素を含む導電性材料を用いてもよい。また、インジウム錫酸化物、酸化タングステンを含むインジウム酸化物、酸化タングステンを含むインジウム亜鉛酸化物、酸化チタンを含むインジウム酸化物、酸化チタンを含むインジウム錫酸化物、インジウム亜鉛酸化物、シリコンを添加したインジウム錫酸化物を用いてもよい。また、窒素を含むインジウムガリウム亜鉛酸化物を用いてもよい。このような材料を用いることで、チャネルが形成される金属酸化物に含まれる水素を捕獲することができる場合がある。または、外方の絶縁体から混入する水素を捕獲することができる場合がある。

[0288]

本実施の形態は、少なくともその一部を本明細書中に記載する他の実施の形態と適宜組み合わせて実施することができる。

[0289]

本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態に示した構成と適宜組み合わせて用いることができる。

[0290]

(実施の形態6)

本実施の形態では、上記の実施の形態で説明したOSトランジスタに用いることができる金属酸化物（以下、酸化物半導体ともいう。）について説明する。

[0291]

<結晶構造の分類>

まず、酸化物半導体における、結晶構造の分類について、図19Aを用いて説明を行う。図19Aは、酸化物半導体、代表的にはIGZO（Inと、Gaと、Znと、を含む金属酸化物）の結晶構造の分類を説明する図である。

[0292]

図19Aに示すように、酸化物半導体は、大きく分けて「Amorphous（無定形）」と、「Crystalline（結晶性）」と、「Crystal（結晶）」と、に分類される。また、「Amorphous」の中には、completely amorphousが含まれる。また、「Crystalline」の中には、CAAC（c-axis-aligned crystalline）、nc（nanocrystalline）、及びCAC（cloud-aligned composite）が含まれる（excluding single crystal）。

and poly crystal)。なお、「Crystalline」の分類には、single crystal、poly crystal、及びcompletely amorphousは除かれる。また、「Crystal」の中には、single crystal、及びpoly crystalが含まれる。

[0293]

なお、図19Aに示す太枠内の構造は、「Amorphous（無定形）」と、「Crystal（結晶）」との間の中間状態であり、新しい境界領域（New crystalline phase）に属する構造である。すなわち、当該構造は、「Crystal（結晶）」もしくはエネルギー的に不安定な「Amorphous（無定形）」とは全く異なる構造と言い換えることができる。

[0294]

なお、膜または基板の結晶構造は、X線回折（XRD：X-Ray Diffraction）スペクトルを用いて評価することができる。ここで、「Crystalline」に分類されるCAAC-IGZO膜のGIXD（Grazing-Incidence XRD）測定で得られるXRDスペクトルを図19Bに示す。なお、GIXD法は、薄膜法またはSeemann-Bohlin法ともいう。以降、図19Bに示すGIXD測定で得られるXRDスペクトルを、単にXRDスペクトルと記す。図19Bに示す縦軸はIntensityであり、横軸は 2θ である。なお、図19Bに示すCAAC-IGZO膜の組成は、In：Ga：Zn=4：2：3〔原子数比〕近傍である。また、図19Bに示すCAAC-IGZO膜の厚さは、500nmである。

[0295]

図19Bに示すように、CAAC-IGZO膜のXRDスペクトルでは、明確な結晶性を示すピークが検出される。具体的には、CAAC-IGZO膜のXRDスペクトルでは、 $2\theta=31^\circ$ 近傍に、c軸配向を示すピークが検出される。なお、図19Bに示すように、 $2\theta=31^\circ$ 近傍のピークは、ピーク強度が検出された角度を軸に左右非対称である。

[0296]

膜または基板の結晶構造は、極微電子線回折法（NBED：Nano Beam Electron Diffraction）によって観察される回折パターン（極微電子線回折パターンともいう。）にて評価することができる。CAAC-IGZO膜の回折パターンを、図19Cに示す。図19Cは、電子線を基板に対して平行に入射するNBEDによって観察される回折パターンである。なお、図19Cに示すCAAC-IGZO膜の組成は、In：Ga：Zn=4：2：3〔原子数比〕近傍である。また、極微電子線回折法では、プローブ径を1nmとして電子線回折が行われる。

[0297]

図19Cに示すように、CAAC-IGZO膜の回折パターンでは、c軸配向を示す複数のスポットが観察される。

[0298]

〔酸化物半導体の構造〕

なお、酸化物半導体は、結晶構造に着目した場合、図19Aとは異なる分類となる場合がある。例えば、酸化物半導体は、単結晶酸化物半導体と、それ以外の非単結晶酸化物半導体と、に分けられる。非単結晶酸化物半導体として、例えば、上述のCAAC-OS、及びnc-OSがある。また、非単結晶酸化物半導体には、多結晶酸化物半導体、擬似非晶質酸化物半導体（a-like O

S: amorphous-like oxide semiconductor)、非晶質酸化物半導体が含まれる。

[0299]

ここで、上述のCAAC-OS、nc-OS、及びa-like OSの詳細について、説明を行う。

[0300]

[CAAC-OS]

CAAC-OSは、複数の結晶領域を有し、当該複数の結晶領域はc軸が特定の方向に配向している酸化物半導体である。なお、特定の方向とは、CAAC-OS膜の厚さ方向、CAAC-OS膜の被形成面の法線方向、またはCAAC-OS膜の表面の法線方向である。また、結晶領域とは、原子配列に周期性を有する領域である。なお、原子配列を格子配列とみなすと、結晶領域とは、格子配列の揃った領域でもある。さらに、CAAC-OSは、a-b面方向において複数の結晶領域が連結する領域を有し、当該領域は歪みを有する場合がある。なお、歪みとは、複数の結晶領域が連結する領域において、格子配列の揃った領域と、別の格子配列の揃った領域と、の間で格子配列の向きが変化している箇所を指す。つまり、CAAC-OSは、c軸配向し、a-b面方向には明らかな配向をしていない酸化物半導体である。

[0301]

なお、上記複数の結晶領域のそれぞれは、1つまたは複数の微小な結晶（最大径が10nm未満である結晶）で構成される。結晶領域が1つの微小な結晶で構成されている場合、当該結晶領域の最大径は10nm未満となる。また、結晶領域が多数の微小な結晶で構成されている場合、当該結晶領域の大きさは、数十nm程度となる場合がある。

[0302]

In-M-Zn酸化物（元素Mは、アルミニウム、ガリウム、イットリウム、スズ、チタンから選ばれた一種、または複数種）において、CAAC-OSは、インジウム（In）、及び酸素を有する層（以下、In層）と、元素M、亜鉛（Zn）、及び酸素を有する層（以下、（M, Zn）層）とが積層した、層状の結晶構造（層状構造ともいう）を有する傾向がある。なお、インジウムと元素Mは、互いに置換可能である。よって、（M, Zn）層にはインジウムが含まれる場合がある。また、In層には元素Mが含まれる場合がある。なお、In層にはZnが含まれる場合もある。当該層状構造は、例えば、高分解能TEM像において、格子像として観察される。

[0303]

CAAC-OS膜に対し、例えば、XRD装置を用いて構造解析を行うと、 $\theta/2\theta$ スキャンを用いたOut-of-plane XRD測定では、c軸配向を示すピークが $2\theta = 31^\circ$ またはその近傍に検出される。なお、c軸配向を示すピークの位置（ 2θ の値）は、CAAC-OSを構成する金属元素の種類、また組成により変動する場合がある。

[0304]

例えば、CAAC-OS膜の電子線回折パターンにおいて、複数の輝点（スポット）が観測される。なお、あるスポットと別のスポットとは、試料を透過した入射電子線のスポット（ダイレクトスポットともいう。）を対称中心として、点対称の位置に観測される。

[0305]

上記特定の方向から結晶領域を観察した場合、当該結晶領域内の格子配列は、六方格子を基本とす

るが、単位格子は正六角形とは限らず、非正六角形である場合がある。また、上記歪みにおいて、五角形、または七角形の格子配列を有する場合がある。なお、CAAC-OSにおいて、歪み近傍においても、明確な結晶粒界（グレインバウンダリー）を確認することはできない。即ち、格子配列の歪みによって、結晶粒界の形成が抑制されていることがわかる。これは、CAAC-OSが、a-b面方向において酸素原子の配列が稠密でないこと、金属原子が置換することで原子間の結合距離が変化すること、によって、歪みを許容することができるためと考えられる。

[0306]

なお、明確な結晶粒界が確認される結晶構造は、いわゆる多結晶（polycrystal）と呼ばれる。結晶粒界は、再結合中心となり、キャリアが捕獲されトランジスタのオン電流の低下、または電界効果移動度の低下を引き起こす可能性が高い。よって、明確な結晶粒界が確認されないCAAC-OSは、トランジスタの半導体層に好適な結晶構造を有する結晶性の酸化物の一つである。なお、CAAC-OSを構成するには、Znを有する構成が好ましい。例えば、In-Zn酸化物、及びIn-Ga-Zn酸化物は、In酸化物よりも結晶粒界の発生を抑制できるため好適である。

[0307]

CAAC-OSは、結晶性が高く、明確な結晶粒界が確認されない酸化物半導体である。よって、CAAC-OSは、結晶粒界に起因する電子移動度の低下が起こりにくいといえる。また、酸化物半導体の結晶性は不純物の混入および／または欠陥の生成によって低下する場合があるため、CAAC-OSは不純物および欠陥（酸素欠損）の少ない酸化物半導体ともいえる。従って、CAAC-OSを有する酸化物半導体は、物理的性質が安定する。そのため、CAAC-OSを有する酸化物半導体は熱に強く、信頼性が高い。また、CAAC-OSは、製造工程における高い温度（所謂サーマルバジェット）に対しても安定である。したがって、OSトランジスタにCAAC-OSを用いると、製造工程の自由度を広げることが可能となる。

[0308]

[nc-OS]

nc-OSは、微小な領域（例えば、1nm以上10nm以下の領域、特に1nm以上3nm以下の領域）において原子配列に周期性を有する。別言すると、nc-OSは、微小な結晶を有する。なお、当該微小な結晶の大きさは、例えば、1nm以上10nm以下、特に1nm以上3nm以下であることから、当該微小な結晶をナノ結晶ともいう。また、nc-OSは、異なるナノ結晶間で結晶方位に規則性が見られない。そのため、膜全体で配向性が見られない。したがって、nc-OSは、分析方法によっては、a-like OSおよび非晶質酸化物半導体と区別が付かない場合がある。例えば、nc-OS膜に対し、XRD装置を用いて構造解析を行うと、 $\theta/2\theta$ スキャンを用いたOut-of-plane XRD測定では、結晶性を示すピークが検出されない。また、nc-OS膜に対し、ナノ結晶よりも大きいプローブ径（例えば50nm以上）の電子線を用いる電子線回折（制限視野電子線回折ともいう。）を行うと、ハローパターンのような回折パターンが観測される。一方、nc-OS膜に対し、ナノ結晶の大きさと近いナノ結晶より小さいプローブ径（例えば1nm以上30nm以下）の電子線を用いる電子線回折（ナノビーム電子線回折ともいう。）を行うと、ダイレクトスポットを中心とするリング状の領域内に複数のスポットが観測される電子線回折パターンが取得される場合がある。

[0309]

[a-like OS]

a-like OSは、nc-OSと非晶質酸化物半導体との間の構造を有する酸化物半導体である。a-like OSは、鬆または低密度領域を有する。即ち、a-like OSは、nc-OS及びCAAC-OSと比べて、結晶性が低い。また、a-like OSは、nc-OS及びCAAC-OSと比べて、膜中の水素濃度が高い。

[0310]

[酸化物半導体の構成]

次に、上述のCAC-OSの詳細について、説明を行う。なお、CAC-OSは材料構成に関する。

[0311]

[CAC-OS]

CAC-OSとは、例えば、金属酸化物を構成する元素が、0.5nm以上10nm以下、好ましくは、1nm以上3nm以下、またはその近傍のサイズで偏在した材料の一構成である。なお、以下では、金属酸化物において、一つまたは複数の金属元素が偏在し、該金属元素を有する領域が、0.5nm以上10nm以下、好ましくは、1nm以上3nm以下、またはその近傍のサイズで混合した状態をモザイク状、またはパッチ状ともいう。

[0312]

さらに、CAC-OSとは、第1の領域と、第2の領域と、に材料が分離することでモザイク状となり、当該第1の領域が、膜中に分布した構成（以下、クラウド状ともいう。）である。つまり、CAC-OSは、当該第1の領域と、当該第2の領域とが、混合している構成を有する複合金属酸化物である。

[0313]

ここで、In-Ga-Zn酸化物におけるCAC-OSを構成する金属元素に対するIn、Ga、及びZnの原子数比のそれぞれを、[In]、[Ga]、及び[Zn]と表記する。例えば、In-Ga-Zn酸化物におけるCAC-OSにおいて、第1の領域は、[In]が、CAC-OS膜の組成における[In]よりも大きい領域である。また、第2の領域は、[Ga]が、CAC-OS膜の組成における[Ga]よりも大きい領域である。または、例えば、第1の領域は、[In]が、第2の領域における[In]よりも大きく、且つ、[Ga]が、第2の領域における[Ga]よりも小さい領域である。また、第2の領域は、[Ga]が、第1の領域における[Ga]よりも大きく、且つ、[In]が、第1の領域における[In]よりも小さい領域である。

[0314]

具体的には、上記第1の領域は、インジウム酸化物、インジウム亜鉛酸化物が主成分である領域である。また、上記第2の領域は、ガリウム酸化物、ガリウム亜鉛酸化物が主成分である領域である。つまり、上記第1の領域を、Inを主成分とする領域と言い換えることができる。また、上記第2の領域を、Gaを主成分とする領域と言い換えることができる。

[0315]

なお、上記第1の領域と、上記第2の領域とは、明確な境界が観察できない場合がある。

[0316]

例えば、In-Ga-Zn酸化物におけるCAC-OSでは、エネルギー分散型X線分光法（EDX: Energy Dispersive X-ray spectroscopy）を用いて取得したEDXマッピングにより、Inを主成分とする領域（第1の領域）と、Gaを主成分とする領域（第2の領域）とが、偏在し、混合している構造を有することが確認できる。

[0317]

CAC-OSをトランジスタに用いる場合、第1の領域に起因する導電性と、第2の領域に起因する絶縁性とが、相補的に作用することにより、スイッチングさせる機能（On/Offさせる機能）をCAC-OSに付与することができる。つまり、CAC-OSとは、材料の一部では導電性の機能と、材料の一部では絶縁性の機能とを有し、材料の全体では半導体としての機能を有する。導電性の機能と絶縁性の機能とを分離させることで、双方の機能を最大限に高めることができる。よって、CAC-OSをトランジスタに用いることで、高いオン電流（ I_{on} ）、高い電界効果移動度（ μ ）、及び良好なスイッチング動作を実現することができる。

[0318]

酸化物半導体は、多様な構造をとり、それぞれが異なる特性を有する。本発明の一態様の酸化物半導体は、非晶質酸化物半導体、多結晶酸化物半導体、a-like OS、CAC-OS、nc-OS、CAAC-OSのうち、二種以上を有していてもよい。

[0319]

<酸化物半導体を有するトランジスタ>

続いて、上記酸化物半導体をトランジスタに用いる場合について説明する。

[0320]

上記酸化物半導体をトランジスタに用いることで、高い電界効果移動度のトランジスタを実現することができる。また、信頼性の高いトランジスタを実現することができる。

[0321]

トランジスタには、キャリア濃度の低い酸化物半導体を用いることが好ましい。例えば、酸化物半導体のキャリア濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下、さらに好ましくは $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ 以下、より好ましくは $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 以下、さらに好ましくは $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 未満であり、 $1 \times 10^{-9} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。なお、酸化物半導体膜のキャリア濃度を低くする場合においては、酸化物半導体膜中の不純物濃度を低くし、欠陥準位密度を低くすればよい。本明細書において、不純物濃度が低く、欠陥準位密度の低いことを高純度真性または実質的に高純度真性と言う。なお、キャリア濃度の低い酸化物半導体を、高純度真性または実質的に高純度真性な酸化物半導体と呼ぶ場合がある。

[0322]

高純度真性または実質的に高純度真性である酸化物半導体膜は、欠陥準位密度が低いため、トラップ準位密度も低くなる場合がある。

[0323]

酸化物半導体のトラップ準位に捕獲された電荷は、消失するまでに要する時間が長く、あたかも固定電荷のように振る舞うことがある。そのため、トラップ準位密度の高い酸化物半導体にチャネル形成領域が形成されるトランジスタは、電気特性が不安定となる場合がある。

[0324]

従って、トランジスタの電気特性を安定にするためには、酸化物半導体中の不純物濃度を低減することが有効である。また、酸化物半導体中の不純物濃度を低減するためには、近接する膜中の不純物濃度も低減することが好ましい。不純物は、水素、窒素、アルカリ金属、アルカリ土類金属、鉄、ニッケル、シリコンがある。

[0325]

<不純物>

ここで、酸化物半導体中における各不純物の影響について説明する。

[0326]

酸化物半導体において、第14族元素の一つであるシリコンおよび／または炭素が含まれると、酸化物半導体において欠陥準位が形成される。このため、酸化物半導体におけるシリコンおよび炭素の濃度と、酸化物半導体との界面近傍のシリコンおよび炭素の濃度（SIMSにより得られる濃度）を、 $2 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、好ましくは $2 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以下とする。

[0327]

酸化物半導体にアルカリ金属またはアルカリ土類金属が含まれると、欠陥準位を形成し、キャリアを生成する場合がある。従って、アルカリ金属またはアルカリ土類金属が含まれている酸化物半導体を用いたトランジスタはノーマリーオン特性となりやすい。このため、SIMSにより得られる酸化物半導体中のアルカリ金属またはアルカリ土類金属の濃度を、 $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、好ましくは $2 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 以下にする。

[0328]

酸化物半導体において、窒素が含まれると、キャリアである電子が生じ、キャリア濃度が増加し、n型化しやすい。この結果、窒素が含まれている酸化物半導体を半導体を用いたトランジスタはノーマリーオン特性となりやすい。または、酸化物半導体において、窒素が含まれると、トラップ準位が形成される場合がある。この結果、トランジスタの電気特性が不安定となる場合がある。このため、SIMSにより得られる酸化物半導体中の窒素濃度を、 $5 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 未満、好ましくは $5 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、より好ましくは $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、さらに好ましくは $5 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以下にする。

[0329]

酸化物半導体に含まれる水素は、金属原子と結合する酸素と反応して水になるため、酸素欠損を形成する場合がある。該酸素欠損に水素が入ることで、キャリアである電子が生成される場合がある。また、水素の一部が金属原子と結合する酸素と結合して、キャリアである電子を生成することがある。従って、水素が含まれている酸化物半導体を用いたトランジスタはノーマリーオン特性となりやすい。このため、酸化物半導体中の水素はできる限り低減されていることが好ましい。具体的には、酸化物半導体において、SIMSにより得られる水素濃度を、 $1 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 未満、好ましくは $1 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 未満、より好ましくは $5 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 未満、さらに好ましくは $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 未満にする。

[0330]

不純物が十分に低減された酸化物半導体をトランジスタのチャネル形成領域に用いることで、安定した電気特性を付与することができる。

[0331]

本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態に示した構成と適宜組み合わせて用いることができる。

[符号の説明]

[0332]

10：層、20：層、30：層、31：筐体、32：開口部、34：固定具、35a：光学部材、35b：光学部材、36a：フレーム、36b：フレーム、37：バッテリー、40：封止基板、60：層、61：発光素子、61B：発光素子、61G：発光素子、61R：発光素子、61W：発

光素子、80：電子機器、81：使用者、91：外部カメラ、92：バッテリー、100A：半導体装置、100B：半導体装置、100C：半導体装置、100D：半導体装置、100G：半導体装置、103：筐体、104：光源、105：保護部材、130B：発光素子、130G：発光素子、130R：発光素子、200：トランジスタ、205：導電体、205a：導電体、205b：導電体、205c：導電体、214：絶縁体、216：絶縁体、222：絶縁体、224：絶縁体、231：金属酸化物、231a：金属酸化物、231b：金属酸化物、231c：金属酸化物、241a：絶縁体、241b：絶縁体、242a：導電体、242b：導電体、245a：導電体、245b：導電体、250：絶縁体、251：絶縁層、254：絶縁体、260：導電体、260a：導電体、260b：導電体、264B：着色層、264G：着色層、264R：着色層、271：保護層、272：絶縁層、273：保護層、274：絶縁体、275：空隙、276：絶縁層、277：マイクロレンズアレイ、279：絶縁体、280：表示パネル、280L：表示パネル、280R：表示パネル、281：絶縁体、282：回路部、283：画素回路部、283a：画素回路、284：画素部、284a：画素、284b：画素部、284c：画素部、285：端子部、286：配線部、290：FPC、291：基板、292：基板、301a：導電体、301b：導電体、311：導電体、313：導電体、321：下部電極、323：絶縁体、325：上部電極、331：導電体、333：導電体、335：導電体、341：導電体、343：導電体、347：導電体、348：導電体、351：導電体、353：導電体、355：導電体、357：導電体、361：絶縁体、363：絶縁体、400C：表示装置、403：素子分離層、405：絶縁体、407：絶縁体、409：絶縁体、411：絶縁体、421：絶縁体、422：絶縁体、423：絶縁体、424：絶縁体、430a：発光素子、430b：発光素子、430c：発光素子、431：トランジスタ、441：トランジスタ、442：トランジスタ、443：導電体、445：絶縁体、447：半導体領域、449a：低抵抗領域、449b：低抵抗領域、451：導電体、453：導電体、454：バンプ、455：導電体、456：導電体、457：接着層、458：バンプ、459：接着層、461：導電体、462：導電体、465：導電体、701：基板、702：基板、712：シール材、716：FPC、730：絶縁体、732：充填層、734：絶縁体、736：着色層、738：遮光層、750：トランジスタ、760：導電体、772：導電体、778：構造体、780：異方性導電体、786：EL層、786a：EL層、786b：EL層、786B：EL層、786G：EL層、786R：EL層、786W：EL層、788：導電体、790：容量、941：網膜、942：水晶体、943：視神経、944：視神経乳頭、945：静脈、946：動脈、947：硝子体、948：脈絡膜、950：光学系、951：発光、951B：光、951G：光、951IR：発光、951R：光、4411：発光層、4412：発光層、4413：発光層、4420：層、4420-1：層、4420-2：層、4430：層、4430-1：層、4430-2：層

請求の範囲

〔請求項 1〕

使用者の頭部に装着される電子機器であり、
同一基板内または同一基板上にトランジスタと発光素子と受光素子とを有する表示装置を有し、
前記表示装置は、画像を表示する機能と、
前記使用者の眼底を撮像する機能と、を有する電子機器。

〔請求項 2〕

請求項 1 において、前記発光素子は、有機発光素子である電子機器。

〔請求項 3〕

請求項 1 または請求項 2 において、前記発光素子は、赤外光を発光する有機発光素子である電子機器。

〔請求項 4〕

請求項 1 乃至 3 のいずれか一において、前記トランジスタの半導体層は、単結晶シリコンである電子機器。

〔請求項 5〕

請求項 1 乃至 3 のいずれか一において、前記トランジスタの半導体層は、酸化物半導体である電子機器。

〔請求項 6〕

請求項 1 乃至 5 のいずれか一において、前記使用者の目を撮像することによって診断する電子機器。

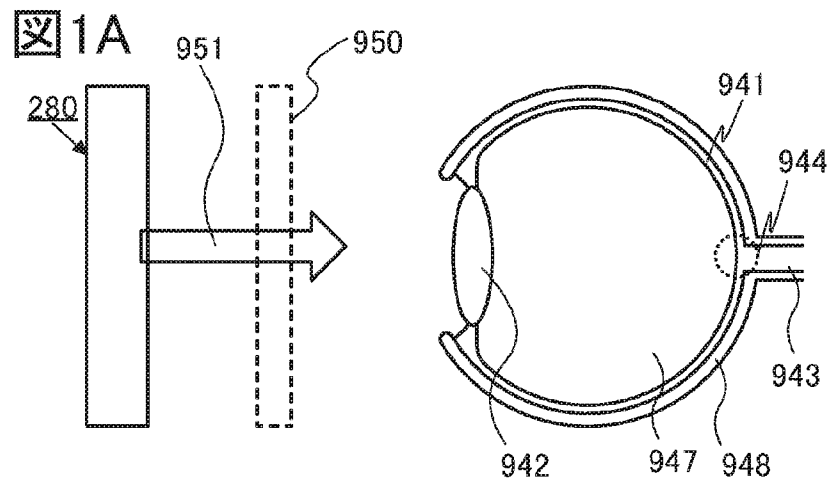


図1B

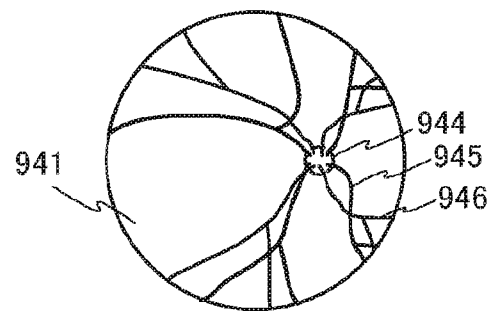


図1C

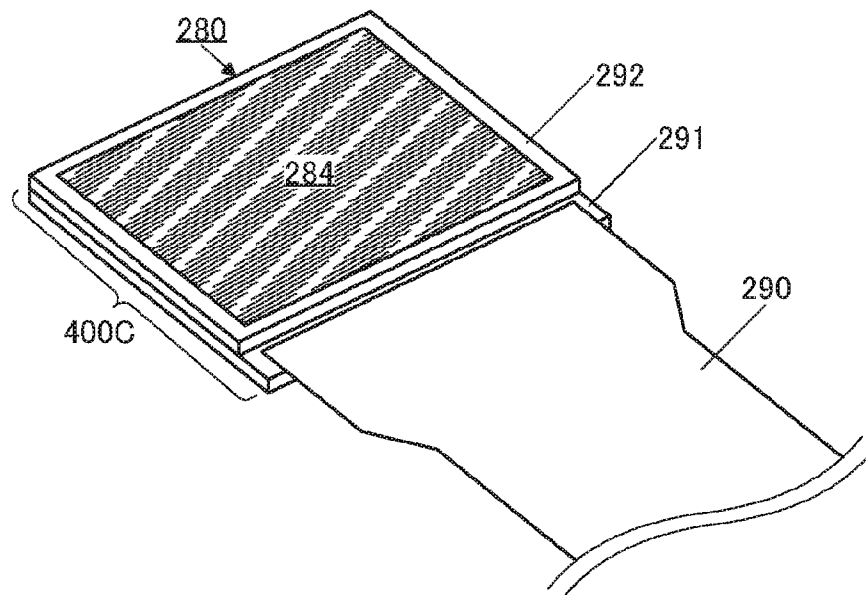


図2A

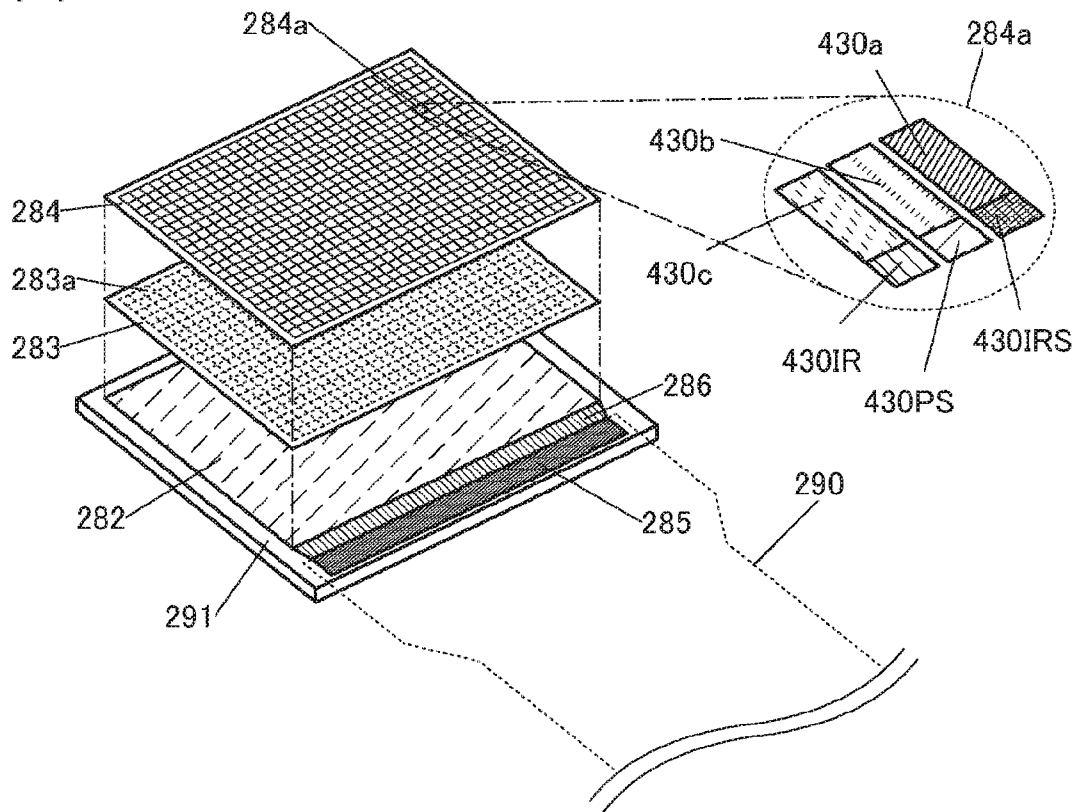


図2B

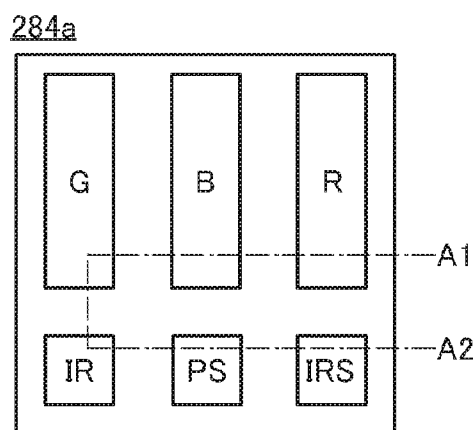


図2C

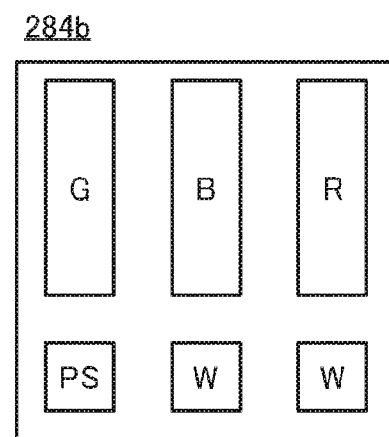


図3A

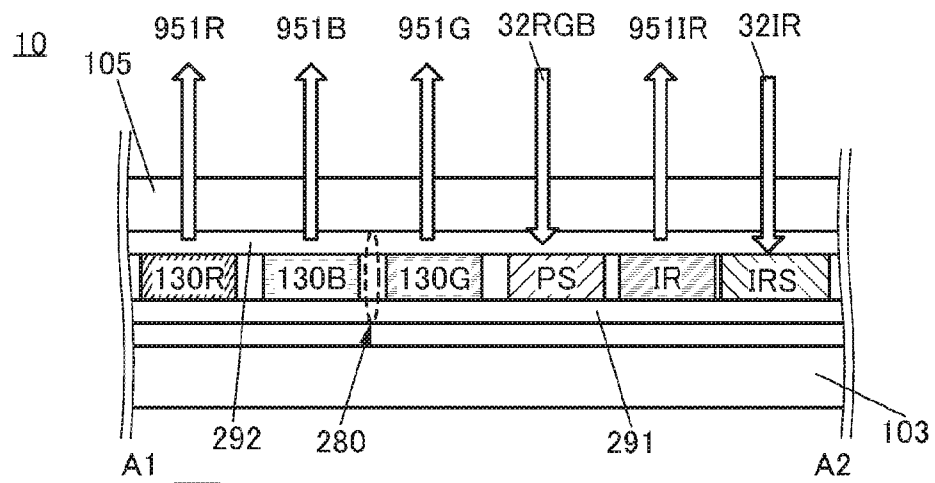


図3B

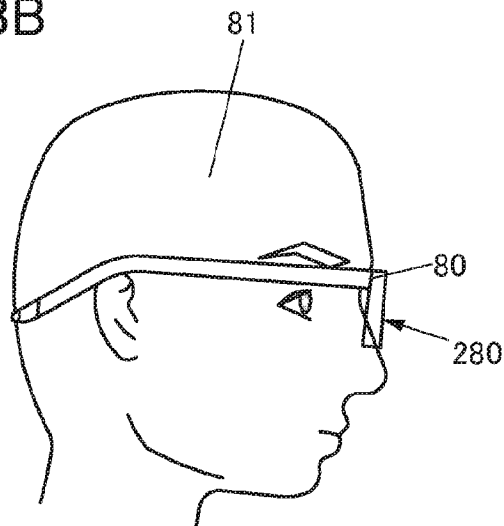


図3C

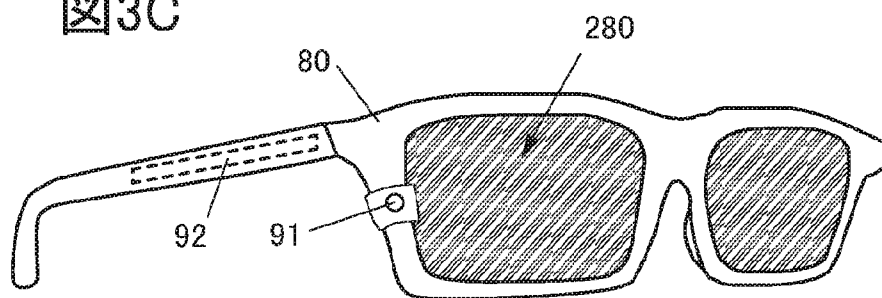


図4A

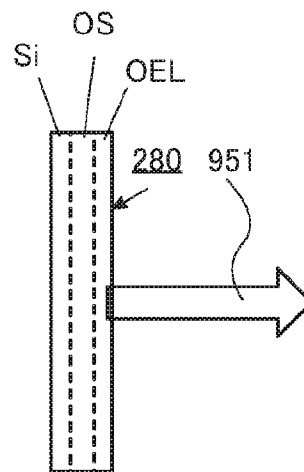


図4B

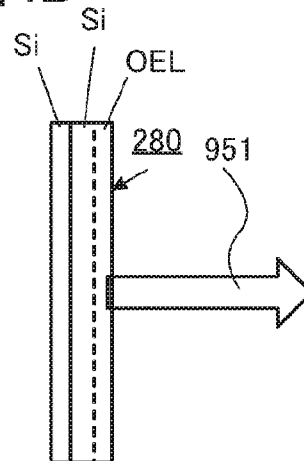
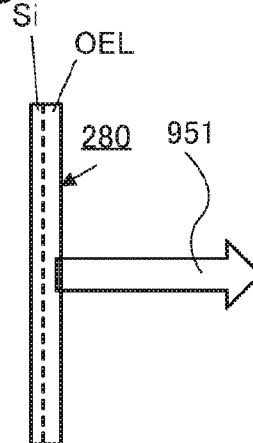


図4C



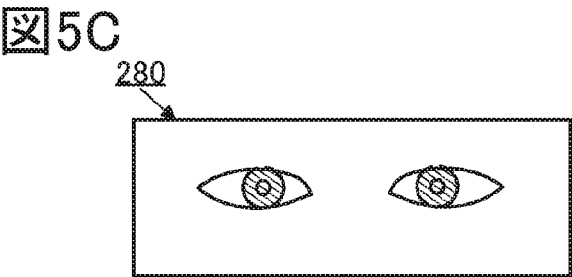
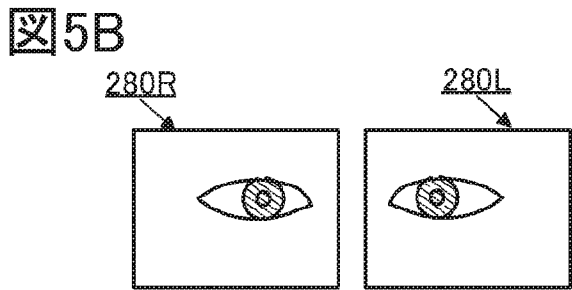
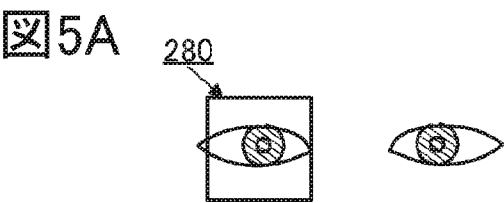


図6

80

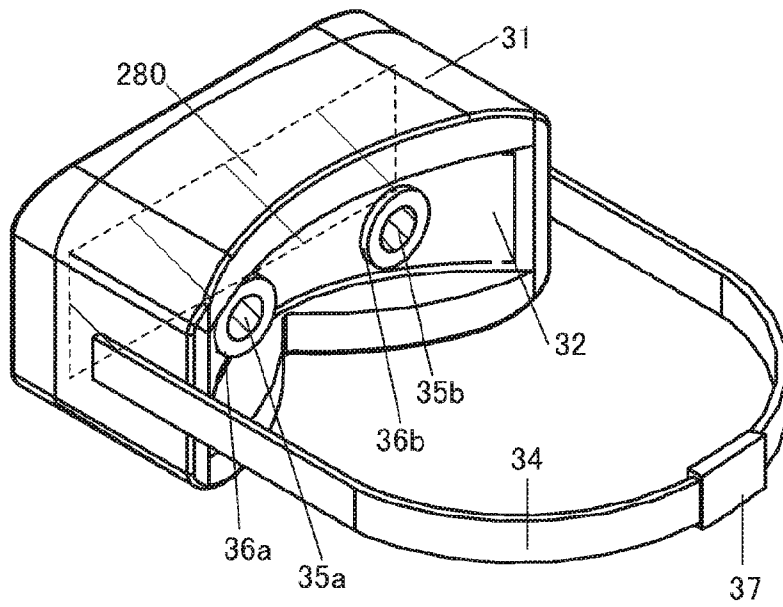


図 7A

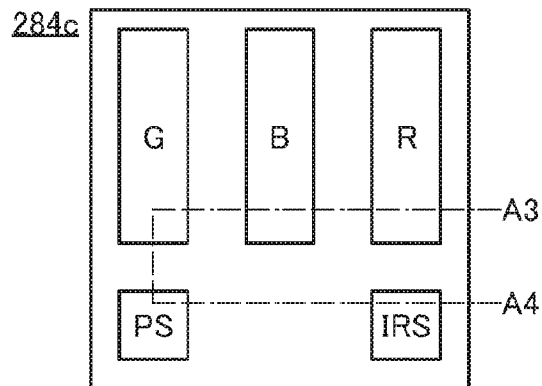


図 7B

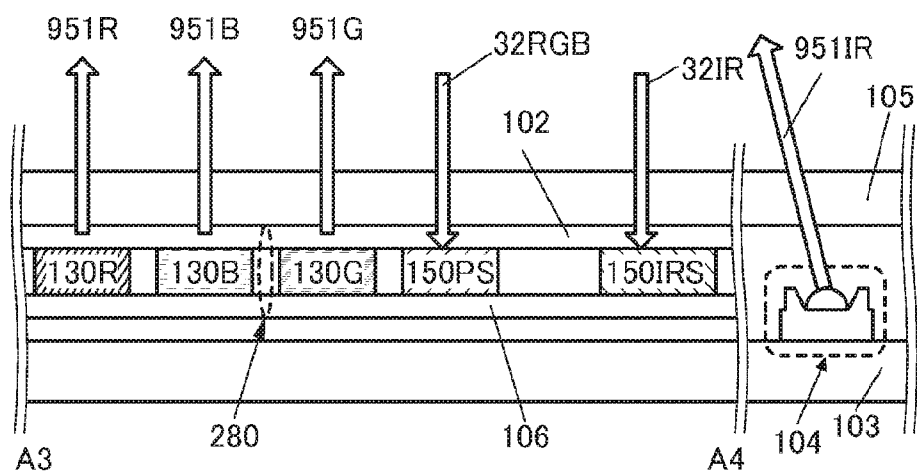
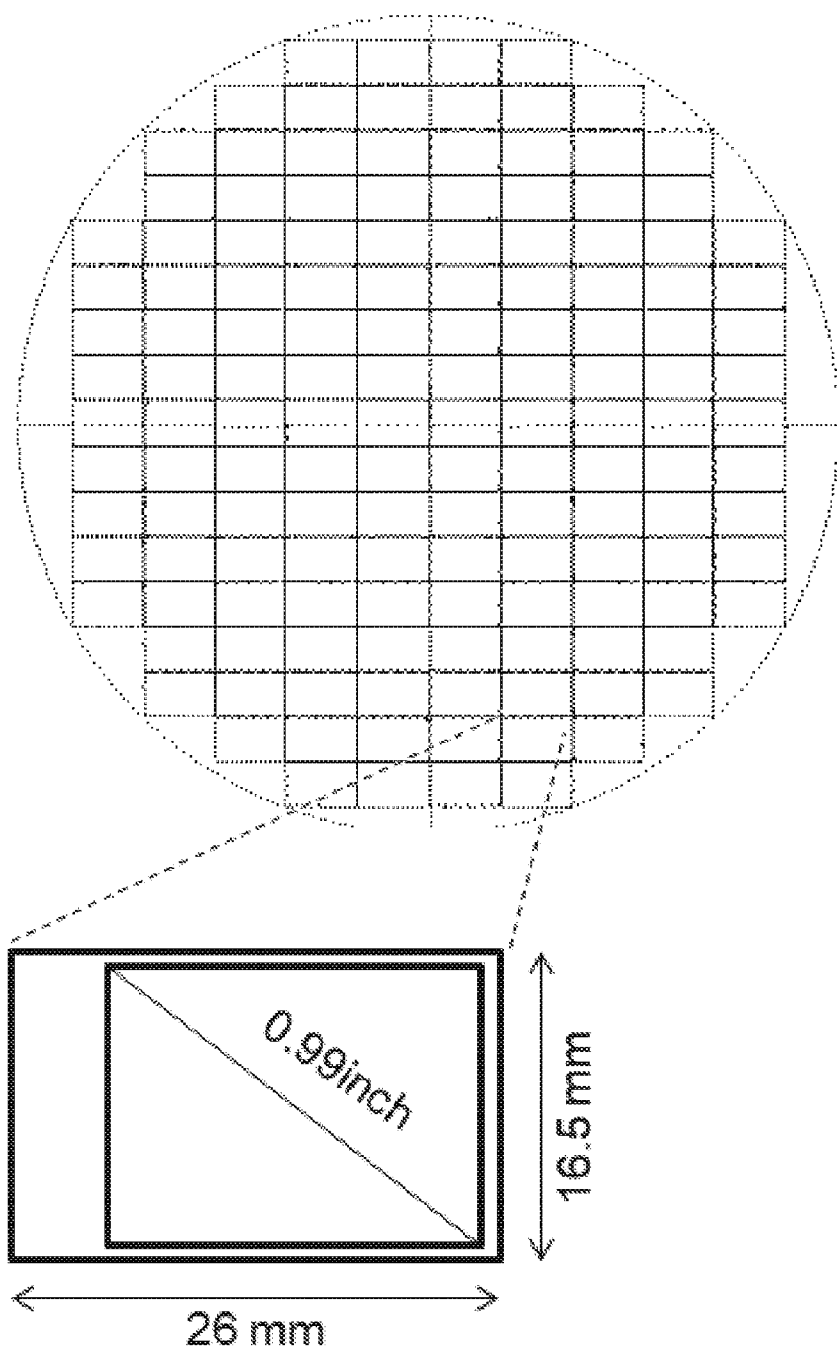
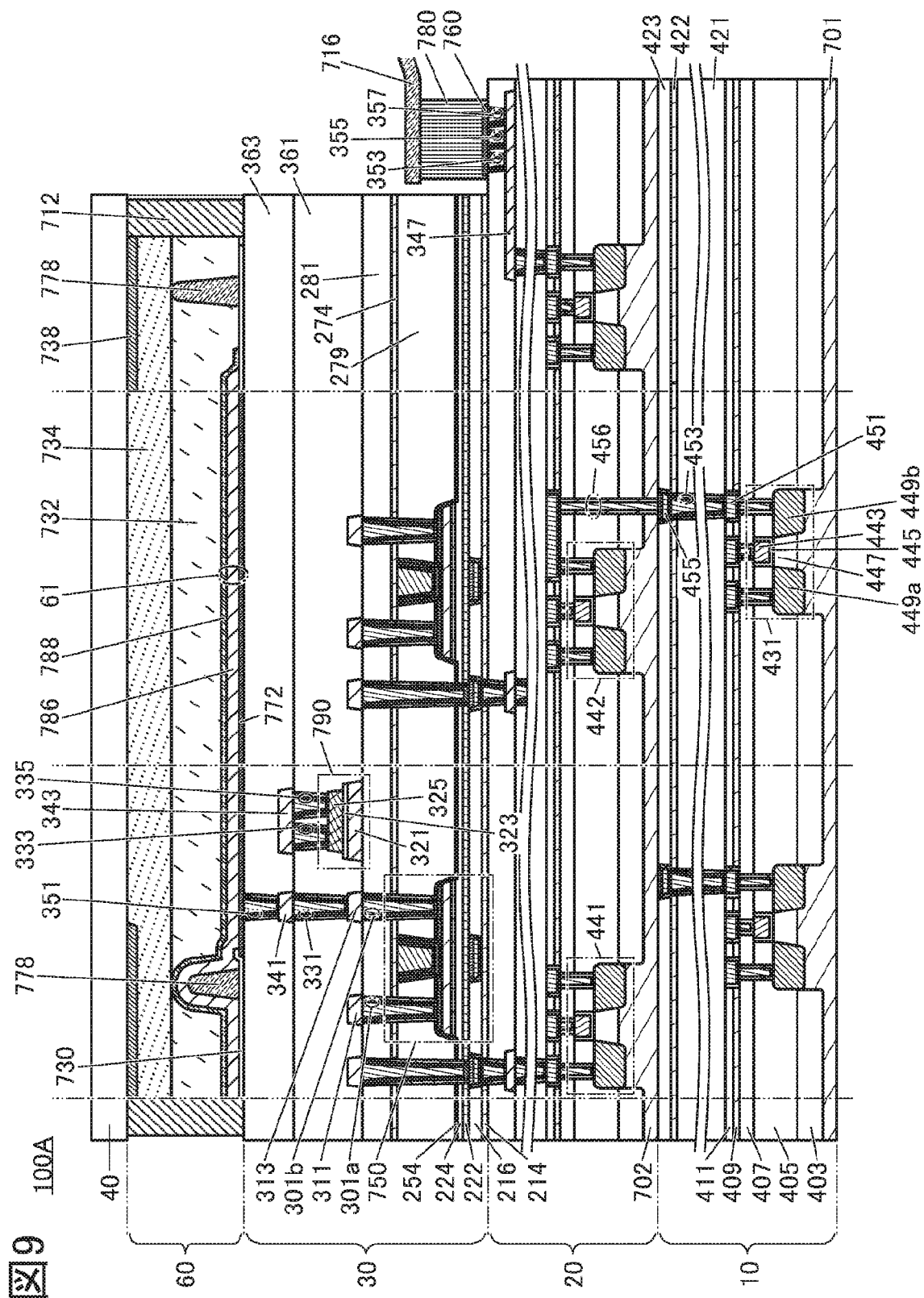


図8





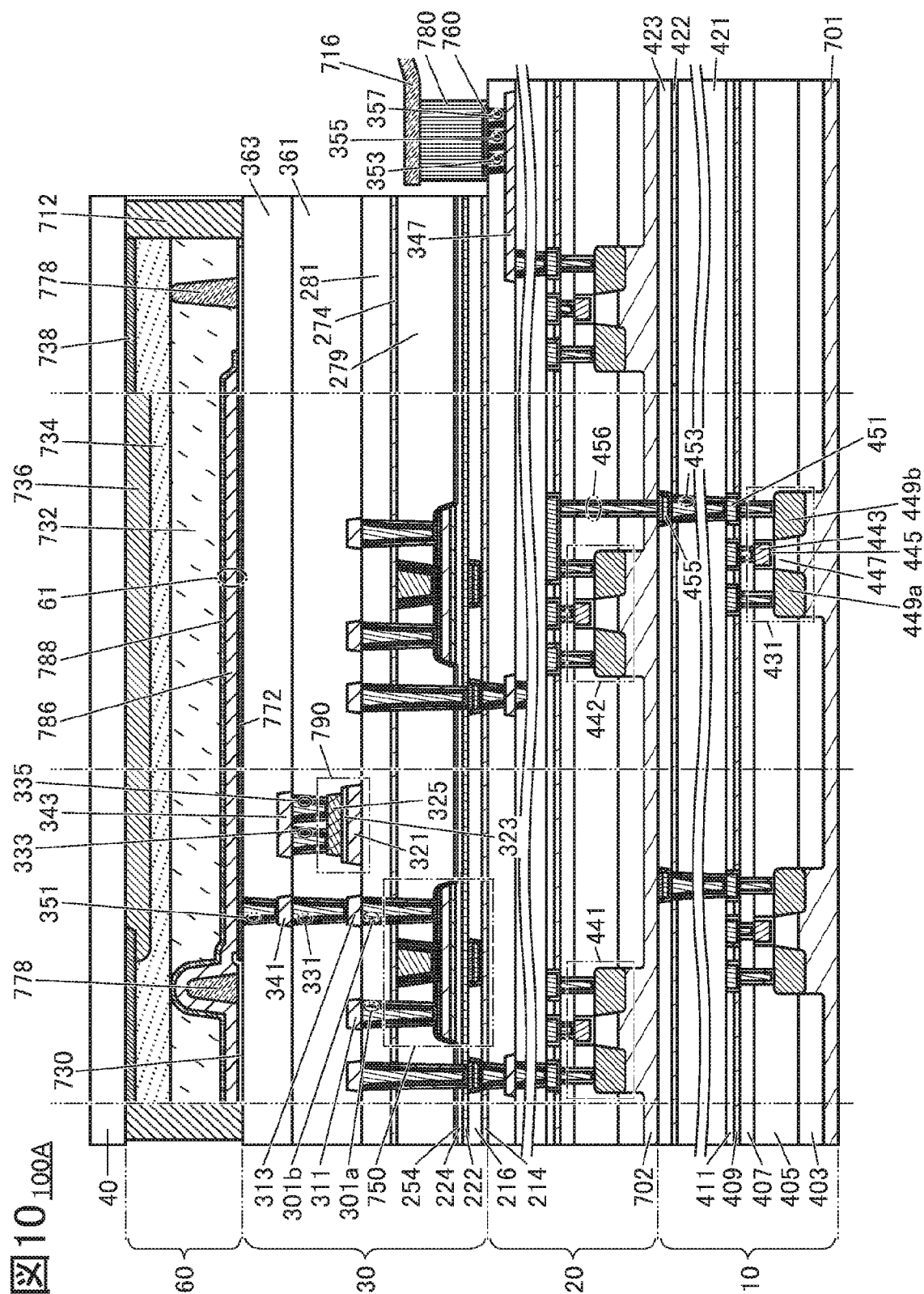
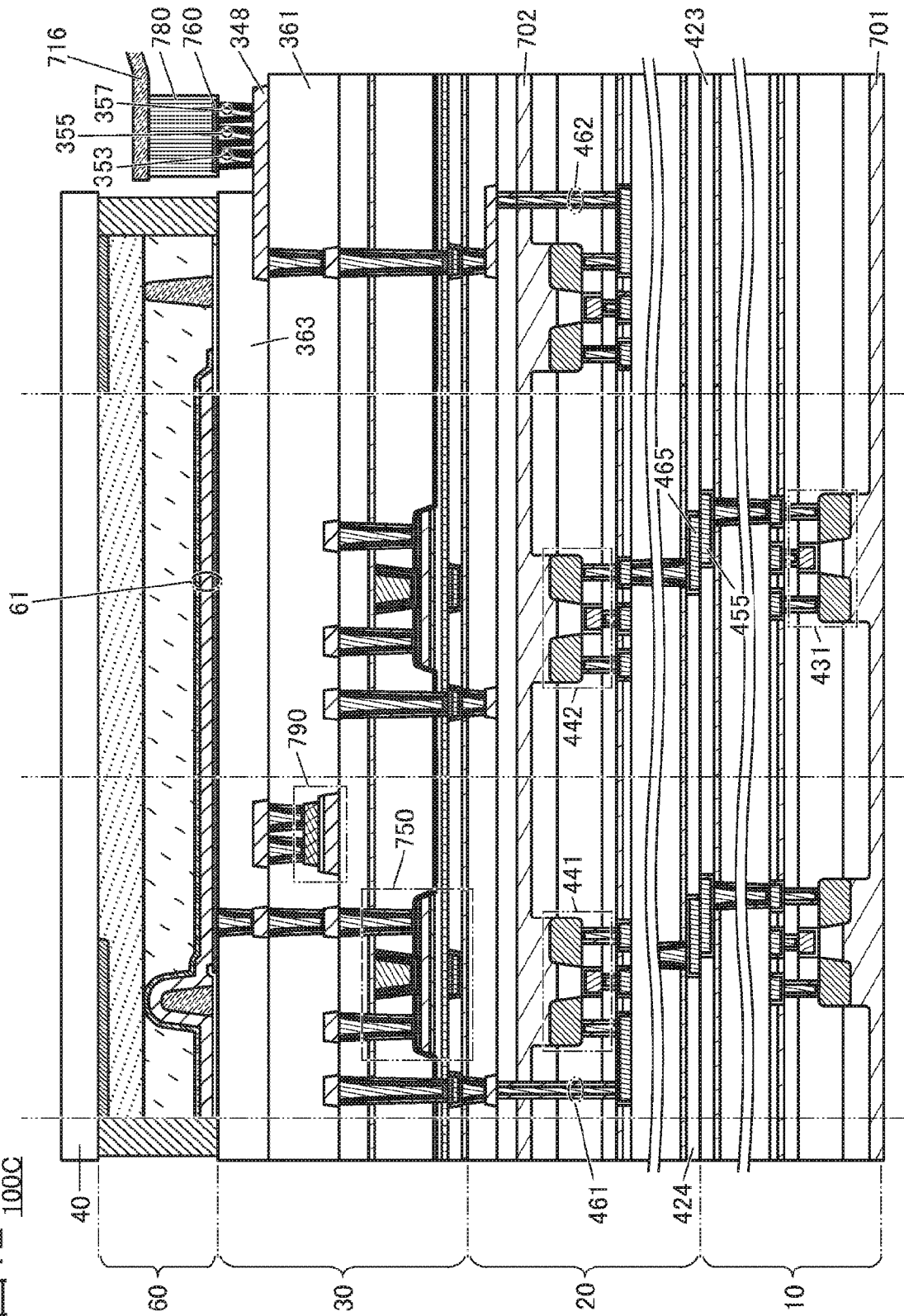


图12 100C



13

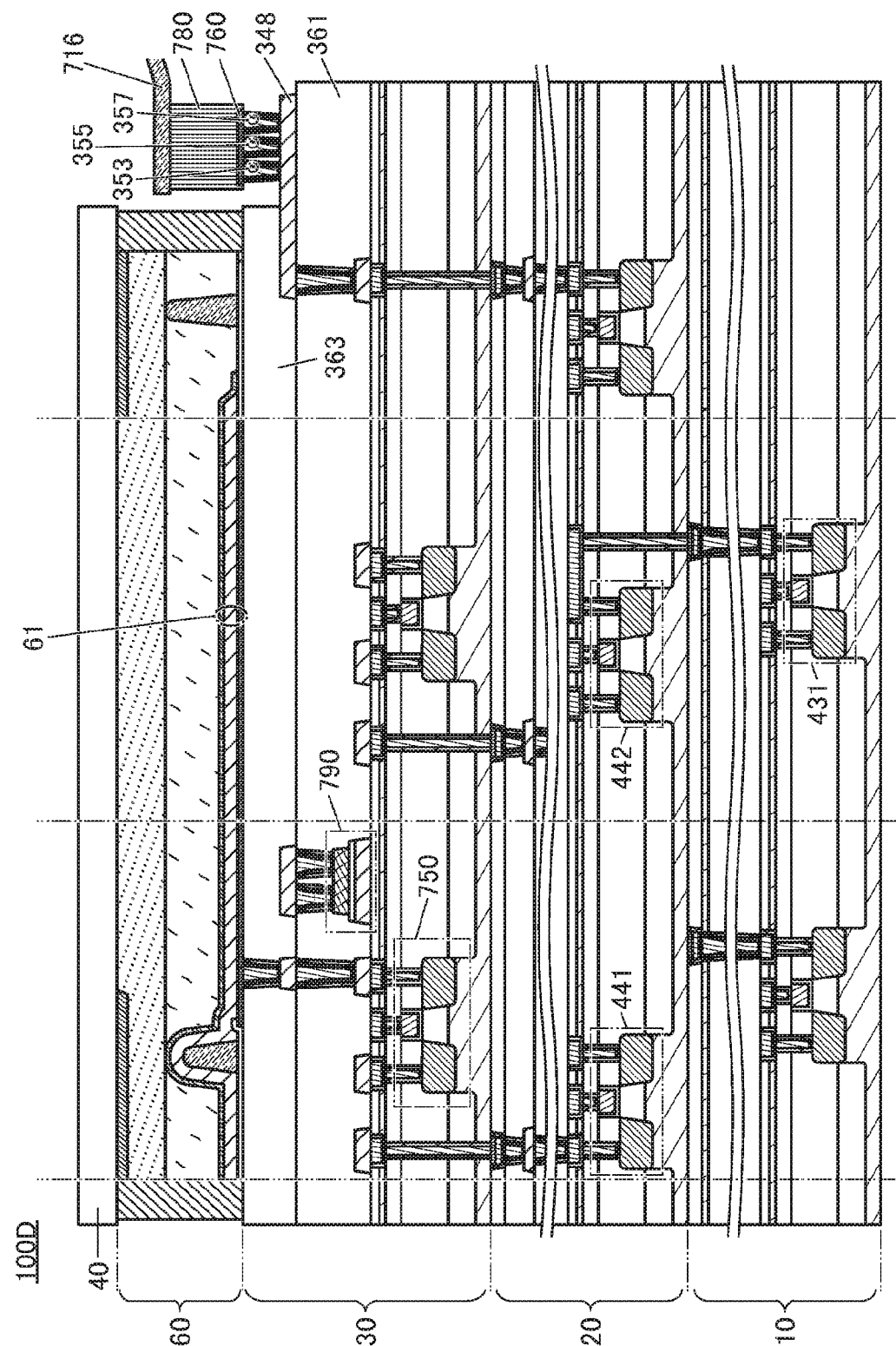


図 15A

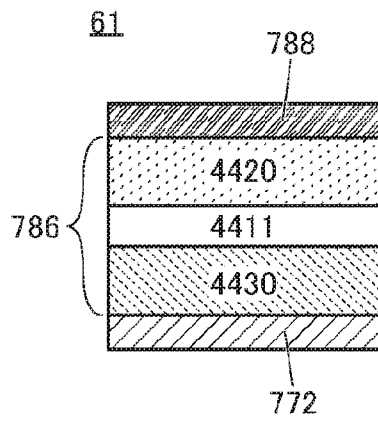


図 15B

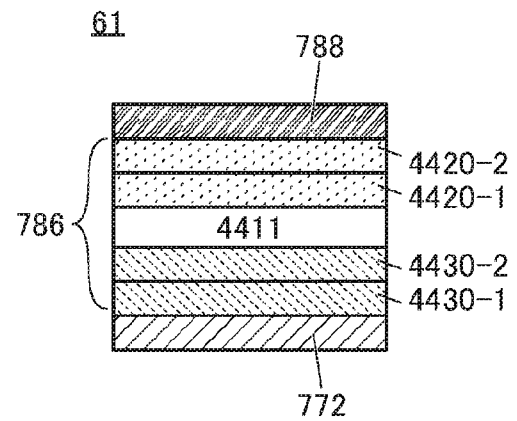


図 15C

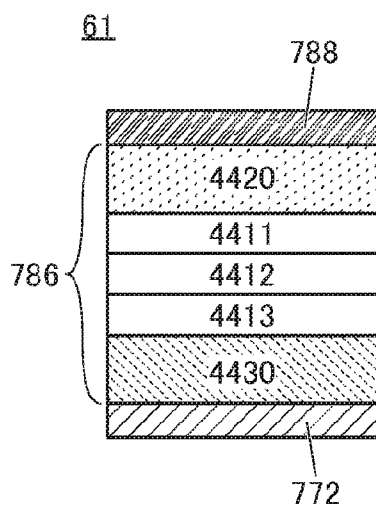


図 15D

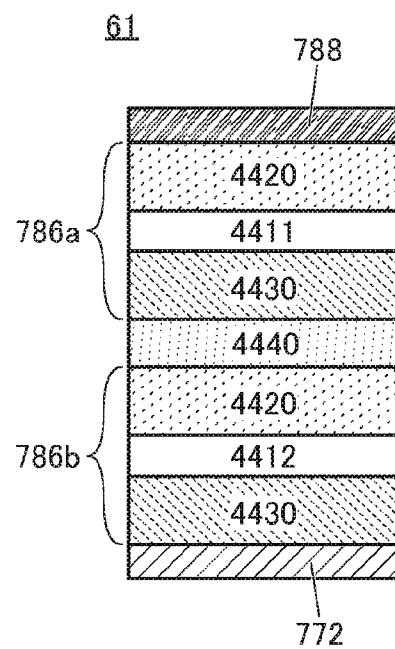


図16A

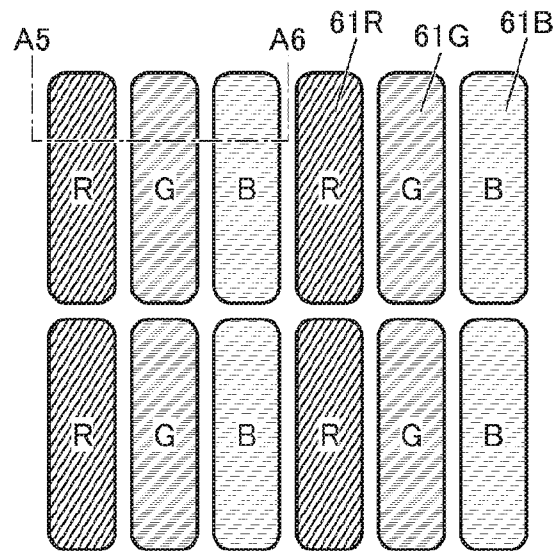


図16B

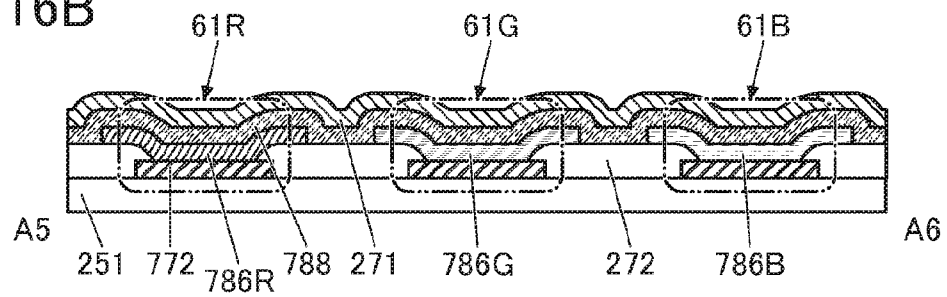


図16C

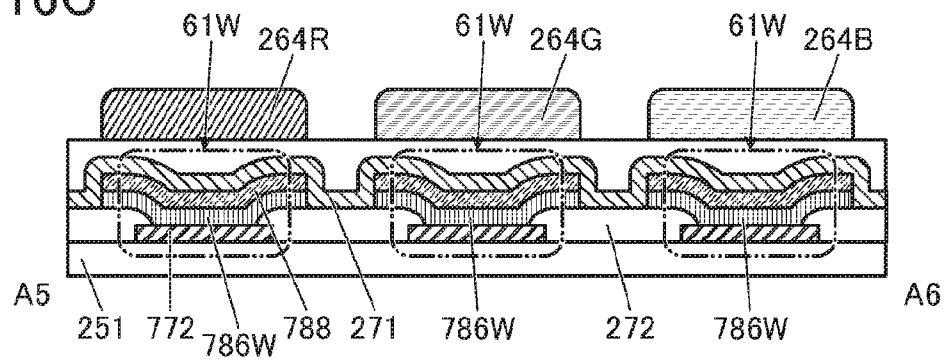


図16D

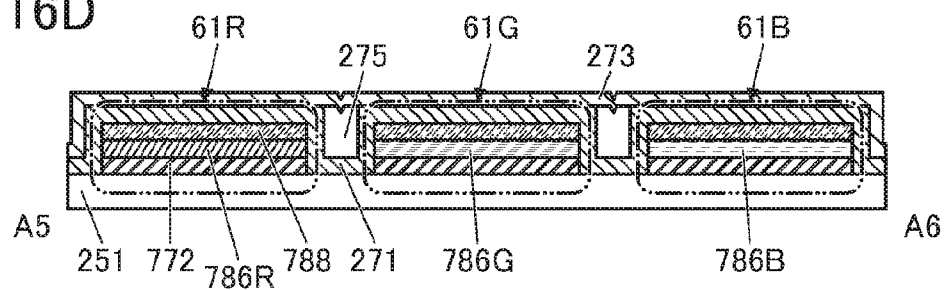


図17A

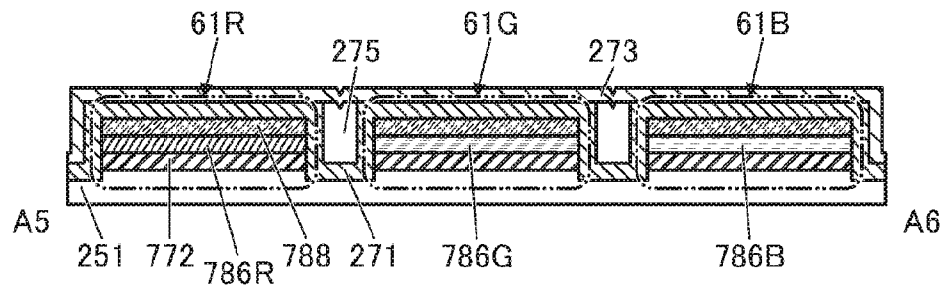


図17B

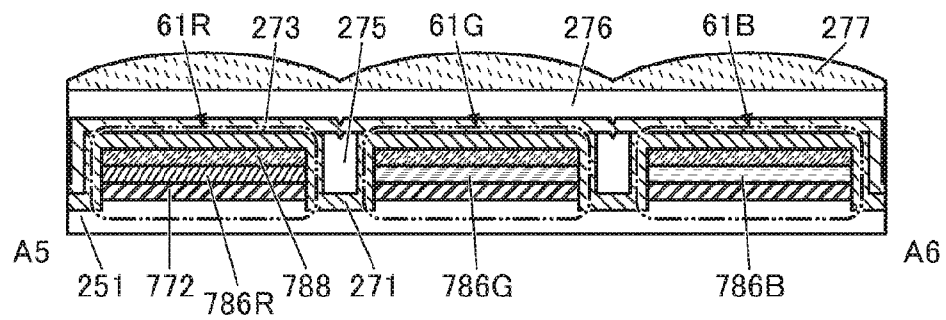


図17C

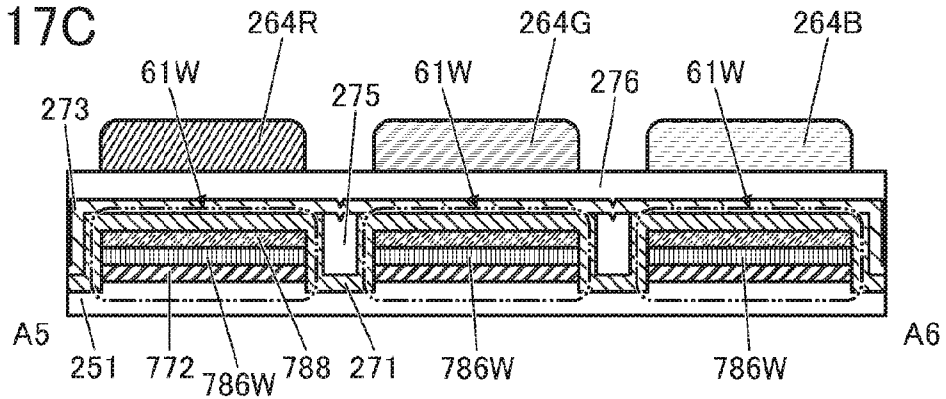


図17D

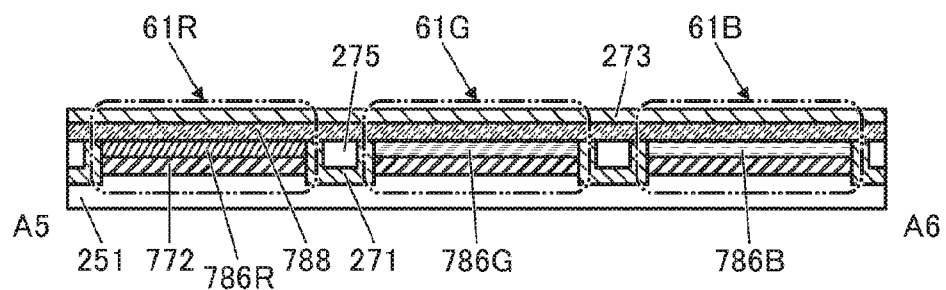


図18A

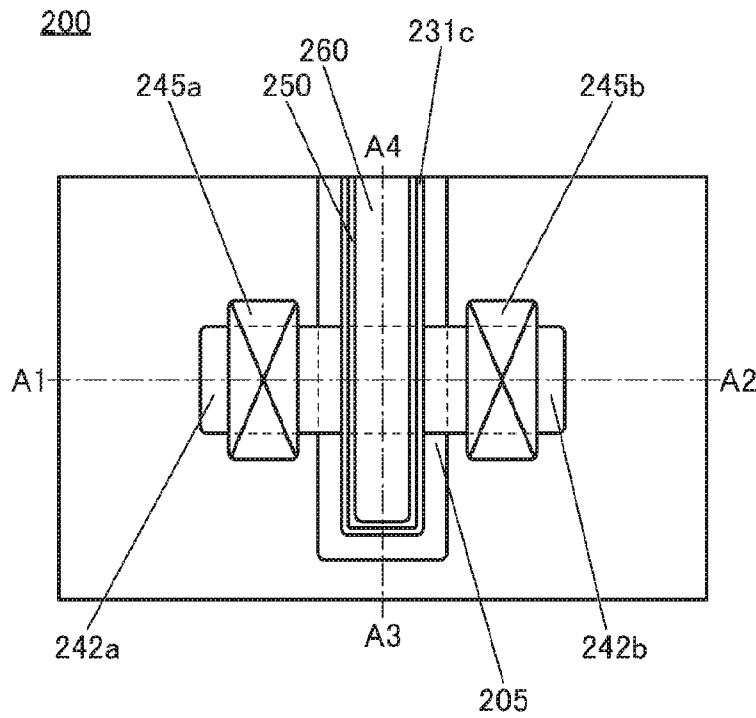


図18C

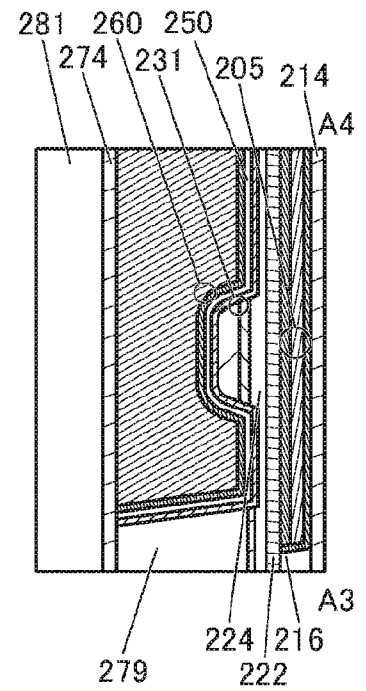


図18B

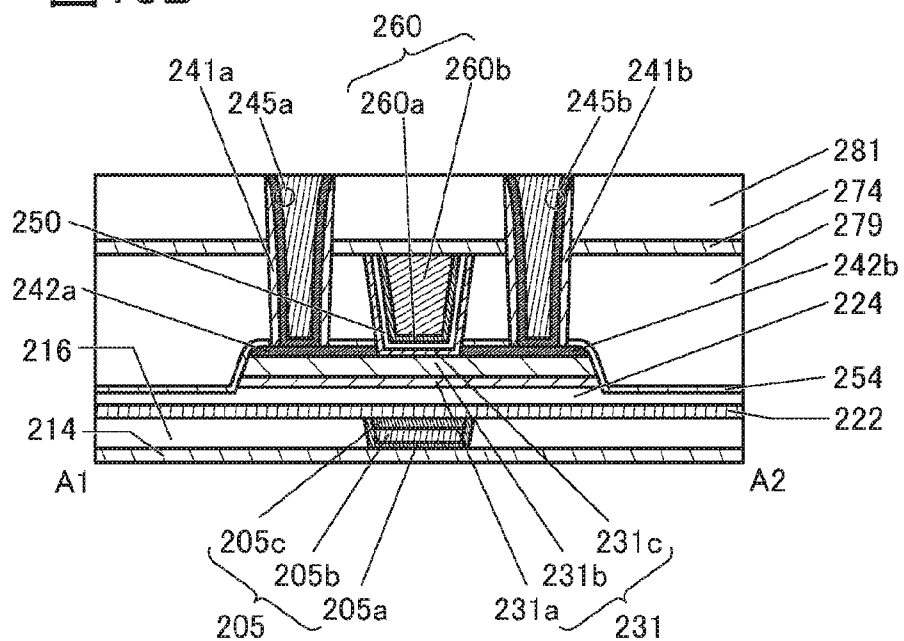


図19A

中間状態 新しい境界領域		
Amorphous (無定形)	Crystalline (結晶性)	Crystal (結晶)
• completely amorphous	• CAAC • nc • CAC excluding single crystal and poly crystal	• single crystal • poly crystal

図19B

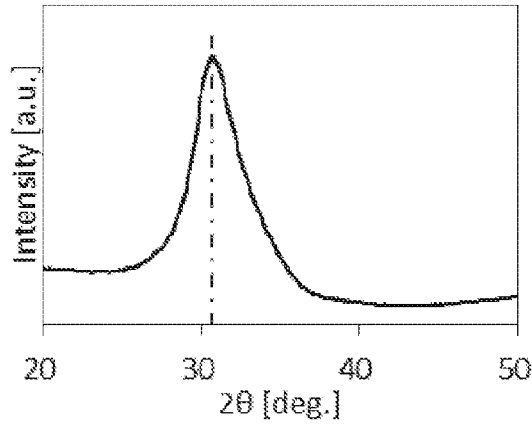
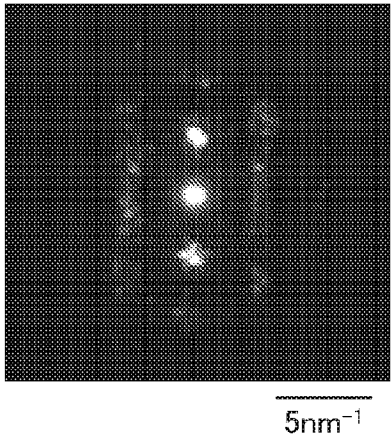


図19C



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/IB2022/051022

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 31/12(2006.01)i; **G09F 9/30**(2006.01)i; **H01L 27/32**(2006.01)i; **A61B 3/12**(2006.01)i; **G02B 27/02**(2006.01)i;
H05B 33/02(2006.01)i; **H01L 51/50**(2006.01)i

FI: A61B3/12; G09F9/30 338; G09F9/30 365; G02B27/02 Z; H01L31/12 B; H01L31/12 E; H01L27/32; H05B33/02;
H05B33/14 A

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)

H01L31/12; G09F9/30; H01L27/32; A61B3/12; G02B27/02; H05B33/02; H01L51/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022
Registered utility model specifications of Japan 1996-2022
Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	KR 10-2018-0020804 A (SEOUL NATIONAL UNIVERSITY HOSPITAL) 28 February 2018 (2018-02-28) paragraphs [0015]-[0032], fig. 1-3	1-6
Y	US 10733439 B1 (FACEBOOK TECHNOLOGIES, LLC.) 04 August 2020 (2020-08-04) column 2, line 38 to column 17, line 10, fig. 1-7	1-6
Y	JP 2002-218421 A (TOSHIBA CORP.) 02 August 2002 (2002-08-02) claim 3	1-6
Y	JP 2008-241827 A (SEIKO EPSON CORP.) 09 October 2008 (2008-10-09) claim 1	1-6
A	US 9949637 B1 (VERILY LIFE SCIENCES LLC.) 24 April 2018 (2018-04-24) column 2, line 16 to column 23, line 25, fig. 1-7	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

30 March 2022

Date of mailing of the international search report

17 May 2022

Name and mailing address of the ISA/JP

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/IB2022/051022

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
KR	10-2018-0020804	A	28 February 2018	(Family: none)	
US	10733439	B1	04 August 2020	(Family: none)	
JP	2002-218421	A	02 August 2002	(Family: none)	
JP	2008-241827	A	09 October 2008	(Family: none)	
US	9949637	B1	24 April 2018	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01L 31/12(2006.01)i; G09F 9/30(2006.01)i; H01L 27/32(2006.01)i; A61B 3/12(2006.01)i; G02B 27/02(2006.01)i; H05B 33/02(2006.01)i; H01L 51/50(2006.01)i FI: A61B3/12; G09F9/30 338; G09F9/30 365; G02B27/02 Z; H01L31/12 B; H01L31/12 E; H01L27/32; H05B33/02; H05B33/14 A																				
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）） H01L31/12; G09F9/30; H01L27/32; A61B3/12; G02B27/02; H05B33/02; H01L51/50 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2022年</td> </tr> </table> 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2022年	日本国実用新案登録公報	1996-2022年	日本国登録実用新案公報	1994-2022年										
日本国実用新案公報	1922-1996年																			
日本国公開実用新案公報	1971-2022年																			
日本国実用新案登録公報	1996-2022年																			
日本国登録実用新案公報	1994-2022年																			
C. 関連すると認められる文献 <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>KR 10-2018-0020804 A (SEOUL NATIONAL UNIVERSITY HOSPITAL) 28.02.2018 (2018 - 02 - 28) [0015] ~ [0032]、図1~3</td> <td>1-6</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>US 10733439 B1 (FACEBOOK TECHNOLOGIES, LLC) 04.08.2020 (2020 - 08 - 04) 第2欄第38行~第17欄第10行、図1~7</td> <td>1-6</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>JP 2002-218421 A (株式会社東芝) 02.08.2002 (2002 - 08 - 02) 請求項3</td> <td>1-6</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>JP 2008-241827 A (セイコーエプソン株式会社) 09.10.2008 (2008 - 10 - 09) 請求項1</td> <td>1-6</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 9949637 B1 (VERILY LIFE SCIENCES LLC) 24.04.2018 (2018 - 04 - 24) 第2欄第16行~第23欄第25行、図1~7</td> <td>1-6</td> </tr> </tbody> </table>			引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	Y	KR 10-2018-0020804 A (SEOUL NATIONAL UNIVERSITY HOSPITAL) 28.02.2018 (2018 - 02 - 28) [0015] ~ [0032]、図1~3	1-6	Y	US 10733439 B1 (FACEBOOK TECHNOLOGIES, LLC) 04.08.2020 (2020 - 08 - 04) 第2欄第38行~第17欄第10行、図1~7	1-6	Y	JP 2002-218421 A (株式会社東芝) 02.08.2002 (2002 - 08 - 02) 請求項3	1-6	Y	JP 2008-241827 A (セイコーエプソン株式会社) 09.10.2008 (2008 - 10 - 09) 請求項1	1-6	A	US 9949637 B1 (VERILY LIFE SCIENCES LLC) 24.04.2018 (2018 - 04 - 24) 第2欄第16行~第23欄第25行、図1~7	1-6
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	KR 10-2018-0020804 A (SEOUL NATIONAL UNIVERSITY HOSPITAL) 28.02.2018 (2018 - 02 - 28) [0015] ~ [0032]、図1~3	1-6																		
Y	US 10733439 B1 (FACEBOOK TECHNOLOGIES, LLC) 04.08.2020 (2020 - 08 - 04) 第2欄第38行~第17欄第10行、図1~7	1-6																		
Y	JP 2002-218421 A (株式会社東芝) 02.08.2002 (2002 - 08 - 02) 請求項3	1-6																		
Y	JP 2008-241827 A (セイコーエプソン株式会社) 09.10.2008 (2008 - 10 - 09) 請求項1	1-6																		
A	US 9949637 B1 (VERILY LIFE SCIENCES LLC) 24.04.2018 (2018 - 04 - 24) 第2欄第16行~第23欄第25行、図1~7	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、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献																				
国際調査を完了した日 30.03.2022		国際調査報告の発送日 17.05.2022																		
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 山口 裕之 2Q 2913 電話番号 03-3581-1101 内線 3292																		

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/IB2022/051022

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
KR	10-2018-0020804	A	28.02.2018	(ファミリーなし)	
US	10733439	B1	04.08.2020	(ファミリーなし)	
JP	2002-218421	A	02.08.2002	(ファミリーなし)	
JP	2008-241827	A	09.10.2008	(ファミリーなし)	
US	9949637	B1	24.04.2018	(ファミリーなし)	