

(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  
2024年12月19日(19.12.2024)



(10) 国際公開番号

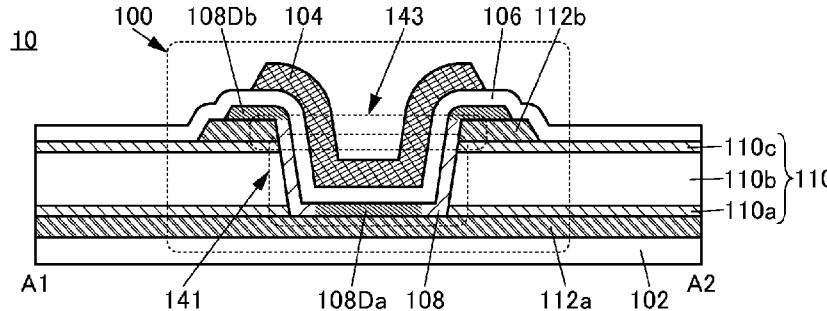
WO 2024/256943 A1

- (51) 国際特許分類:  
H01L 29/786 (2006.01) H01L 27/088 (2006.01)  
H01L 21/336 (2006.01) H10K 59/10 (2023.01)  
H01L 21/8234 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/IB2024/055638
- (22) 国際出願日: 2024年6月10日(10.06.2024)
- (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 2023-099552 2023年6月16日(16.06.2023) 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: 肥塚 純一 (KOEZUKA, Junichi);  
〒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). 黒崎大  
輔(KUROSAKI, Daisuke). 神長正美(JINTYOU,  
Masami). 保本清治(YASUMOTO, Seiji); 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC,  
EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,  
HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,  
KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU,  
LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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,

(54) Title: SEMICONDUCTOR DEVICE AND METHOD FOR MANUFACTURING SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: 半導体装置、及び半導体装置の作製方法

図1B



(57) Abstract: Provided is a semiconductor device that includes a transistor having a large ON current. The semiconductor device includes: a semiconductor layer; first to third conductive layers; and first and second insulative layers. The first insulative layer includes a first opening that reaches the first conductive layer. The second conductive layer is located above the first insulative layer and includes a second opening in a region overlapping the first opening. The semiconductor layer includes: a first region adjoining the upper surface of the first conductive layer; and a second region adjoining a lateral surface of the first insulative layer. The second insulative layer is located above the semiconductor layer. The third conductive layer includes a region overlapping the semiconductor layer with the second insulative layer disposed therebetween. The first region and the second insulative layer each include a first element. The first element is boron or phosphorus. The concentration of the first element in the second region is no more than 0.001 times the concentration of the first element in the first region. The angle formed by the lateral surface of the first insulative layer and the upper surface of the first conductive layer is 66 degrees to 90 degrees.

SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,  
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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: オン電流の大きいトランジスタを有する半導体装置を提供する。半導体層と、第1乃至第3の導電層と、第1及び第2の絶縁層と、を有する半導体装置とする。第1の絶縁層は、第1の導電層に達する第1の開口部を有する。第2の導電層は、第1の絶縁層上に位置し、第1の開口部と重なる領域に第2の開口部を有する。半導体層は、第1の導電層の上面と接する第1の領域と、第1の絶縁層の側面と接する第2の領域と、を有する。第2の絶縁層は、半導体層上に位置する。第3の導電層は、第2の絶縁層を介して半導体層と重なる領域を有する。第1の領域及び第2の絶縁層はそれぞれ、第1の元素を有する。第1の元素は、ホウ素またはリンである。第2の領域における第1の元素の濃度は、第1の領域における第1の元素の濃度の0.001倍以下である。第1の絶縁層の側面と第1の導電層の上面のなす角度は、66度以上90度以下である。

## 明細書

## 発明の名称

半導体装置、及び半導体装置の作製方法

## 技術分野

[0001]

本発明の一態様は、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、トランジスタ、及びその作製方法に関する。本発明の一態様は、半導体装置を有する表示装置に関する。

[0002]

なお、本発明の一態様は、上記の技術分野に限定されない。本発明の一態様の技術分野として、半導体装置、表示装置、発光装置、蓄電装置、記憶装置、電子機器、照明装置、入力装置（例えば、タッチセンサ）、入出力装置（例えば、タッチパネル）、それらの駆動方法、またはそれらの製造方法を一例として挙げることができる。

[0003]

なお、本明細書等において、半導体装置とは、半導体特性を利用した装置であり、半導体素子（トランジスタ、ダイオード、フォトダイオード等）を含む回路、同回路を有する装置等をいう。また、半導体特性を利用することで機能しうる装置全般をいう。例えば、集積回路、集積回路を備えたチップ、パッケージにチップを収納した電子部品は半導体装置の一例である。また、記憶装置、表示装置、発光装置、照明装置、及び電子機器は、それ自体が半導体装置であり、かつ、それぞれが半導体装置を有している場合がある。

## 背景技術

[0004]

トランジスタを有する半導体装置は、電子機器に広く適用されている。例えば、表示装置において、トランジスタの占有面積を小さくすることで、画素サイズを縮小でき、精細度を高めることができる。そのため、微細なトランジスタが求められている。

[0005]

高精細な表示装置が要求される機器として、例えば、仮想現実（VR: Virtual Reality）、拡張現実（AR: Augmented Reality）、代替現実（SR: Substitutional Reality）、及び、複合現実（MR: Mixed Reality）向けの機器が、盛んに開発されている。

[0006]

表示装置として、例えば、有機EL（Electro Luminescence）素子、または発光ダイオード（LED: Light Emitting Diode）を有する発光装置が開発されている。

[0007]

特許文献1には、有機EL素子を用いた、高精細な表示装置が開示されている。

[先行技術文献]

[特許文献]

[0008]

[特許文献1] 国際公開第2016/038508号

## 発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009]

本発明の一態様は、微細なサイズのトランジスタを有する半導体装置を提供することを課題の一とする。または、チャンネル長の短いトランジスタを有する半導体装置を提供することを課題の一とする。または、オン電流の大きいトランジスタを有する半導体装置を提供することを課題の一とする。または、電界効果移動度の高いトランジスタを有する半導体装置を提供することを課題の一とする。または、電気特性が良好なトランジスタを有する半導体装置を提供することを課題の一とする。または、高速に動作する半導体装置を提供することを課題の一とする。または、占有面積の小さい半導体装置を提供することを課題の一とする。または、配線抵抗の低い半導体装置を提供することを課題の一とする。または、消費電力の低い半導体装置または表示装置を提供することを課題の一とする。または、信頼性の高いトランジスタ、半導体装置、または表示装置を提供することを課題の一とする。または、高精細の表示装置を提供することを課題の一とする。または、生産性の高い半導体装置または表示装置の作製方法を提供することを課題の一とする。または、新規なトランジスタ、半導体装置、表示装置、またはこれらの作製方法を提供することを課題の一とする。

[0010]

なお、これらの課題の記載は、他の課題の存在を妨げるものではない。本発明の一態様は、必ずしも、これらの課題の全てを解決する必要はないものとする。明細書、図面、請求項の記載から、これら以外の課題を抽出することが可能である。

課題を解決するための手段

[0011]

本発明の一態様は、半導体層と、第1の導電層と、第2の導電層と、第3の導電層と、第1の絶縁層と、第2の絶縁層と、を有する半導体装置である。第1の絶縁層は、第1の導電層上に位置する。第1の絶縁層は、第1の導電層に達する第1の開口部を有する。第2の導電層は、第1の絶縁層上に位置する。第2の導電層は、第1の開口部と重なる領域に第2の開口部を有する。半導体層は、第1の開口部において、第1の導電層の上面と接する第1の領域と、第1の絶縁層の側面と接する第2の領域と、を有する。第2の絶縁層は、半導体層上に位置する。第3の導電層は、第2の絶縁層を介して、半導体層と重なる領域を有する。第1の領域及び第2の絶縁層はそれぞれ、第1の元素を有する。第1の元素は、ホウ素またはリンである。第2の領域における第1の元素の濃度は、第1の領域における第1の元素の濃度の $1 \times 10^{-3}$ 倍以下である。第1の開口部における第1の絶縁層の側面と、第1の導電層の上面のなす角度は、66度以上90度以下である。

[0012]

前述の半導体装置において、半導体層は、第2の開口部において、第2の導電層の側面と接する領域を有するとともに、第2の導電層の上面と接する第3の領域を有することが好ましい。第3の領域は、第1の元素を有することが好ましい。第2の領域における第1の元素の濃度は、第3の領域における第1の元素の濃度の $1 \times 10^{-3}$ 倍以下であることが好ましい。

[0013]

本発明の一態様は、半導体層と、第1の導電層と、第2の導電層と、第3の導電層と、第1の絶縁層と、第2の絶縁層と、を有する半導体装置である。第1の絶縁層は、第1の導電層上に位置する。第1の絶縁層は、第1の導電層に達する第1の開口部を有する。第2の導電層は、第1の絶縁層上に位置する。第2の導電層は、第1の開口部と重なる領域に第2の開口部を有する。半導体層は、第1

の開口部において、第1の導電層の上面と接する第1の領域と、第1の絶縁層の側面と接する第2の領域と、を有する。第2の絶縁層は、半導体層上に位置する。第3の導電層は、第2の絶縁層を介して、半導体層と重なる領域を有する。第1の領域及び第2の絶縁層はそれぞれ、第1の元素を有する。第1の元素は、ホウ素またはリンである。第2の領域における第1の元素の濃度は、第1の領域における第1の元素の濃度の $1 \times 10^{-3}$ 倍以下である。第1の導電層の上面に垂直な方向において、第2の絶縁層の第2の領域と接する部分の厚さは、第2の絶縁層の第1の領域と接する部分の厚さの2.5倍以上である。

[0014]

前述の半導体装置において、半導体層は、第2の開口部において、第2の導電層の側面と接する領域を有するとともに、第2の導電層の上面と接する第3の領域を有することが好ましい。第3の領域は、第1の元素を有することが好ましい。第1の導電層の上面に垂直な方向における、第2の絶縁層の第2の領域と接する部分の厚さは、第2の絶縁層の第3の領域と接する部分の厚さの2.5倍以上であることが好ましい。

[0015]

前述の半導体装置において、第1の領域は、水素を有することが好ましい。第1の領域における水素の濃度は、第2の領域における水素の濃度より高いことが好ましい。

[0016]

前述の半導体装置において、第1の領域は、第2の元素を有することが好ましい。第2の元素は、アルゴン、クリプトンまたはキセノンであることが好ましい。第1の領域における第2の元素の濃度は、第2の領域における第2の元素の濃度より高いことが好ましい。

[0017]

前述の半導体装置において、半導体層は、金属酸化物を有することが好ましい。

[0018]

前述の半導体装置において、第1の絶縁層は、第3の絶縁層と、第3の絶縁層上の第4の絶縁層と、第4の絶縁層上の第5の絶縁層と、を有することが好ましい。第3の絶縁層及び第5の絶縁層はそれぞれ、シリコンと、窒素と、を有することが好ましい。第4の絶縁層は、シリコンと、酸素と、を有することが好ましい。

[0019]

前述の半導体装置において、第1の絶縁層は、第3の絶縁層と、第3の絶縁層上の第4の絶縁層と、第4の絶縁層上の第5の絶縁層と、を有することが好ましい。第3の絶縁層は、シリコンと、窒素と、を有することが好ましい。第4の絶縁層は、シリコンと、酸素と、を有することが好ましい。第5の絶縁層は、アルミニウム及びハフニウム的一方または双方と、酸素と、を有することが好ましい。

[0020]

本発明の一態様は、第1の導電層を形成し、第1の導電層上に、第1の絶縁膜を形成し、第1の絶縁膜上に、第1の導電膜を形成し、第1の導電膜及び第1の絶縁膜を加工し、第1の導電層に達する第1の開口部を有する第1の絶縁層を形成するとともに、第1の開口部と重なる第2の開口部を有する第2の導電層を形成し、第1の導電層、第1の絶縁層、及び第2の導電層上に、半導体層を形成し、半導体層上に、第2の絶縁層を形成し、第2の絶縁層を介して、プラズマイオンドーピング法またはイオン注入法を用いて、半導体層に第1の元素を供給し、第2の絶縁層上に、第3の導電層を形成する半導体装置の作製方法である。第1の元素は、ホウ素またはリンである。半導体層は、第1の

導電層の上面と接する第1の領域と、第1の絶縁層の側面と接する第2の領域と、を有する。第1の領域及び第2の絶縁層はそれぞれ、第1の元素を有する。下記数式(1)で表わされるPaは、 $1 \times 10^{-3}$ 以下である。

[0021]

[数1]

$$Pa = \exp\left(-\frac{\left(\frac{\beta}{\cos\theta}-1\right)^2}{2\alpha^2}\right) \quad (1)$$

[0022]

上記数式(1)において、 $\theta$ は、90度未満であり、かつ第1の絶縁層の第1の開口部における側面と、第1の導電層の上面のなす角度を表す。 $\alpha$ は、0より大きい実数であり、かつ第1の元素の供給におけるイオンの投影飛程に対する標準偏差の比を表す。 $\beta$ は、0より大きい実数であり、かつ第1の導電層の上面に垂直な方向において、第2の絶縁層の第1の導電層の上面に沿って設けられる部分の厚さに対する、第2の絶縁層の第1の絶縁層の側面に沿って設けられる部分の厚さの比を表す。

[0023]

前述の半導体装置の作製方法において、第1の元素を供給する前に、第2の絶縁層を介して、プラズマイオンドーピング法またはイオン注入法を用いて、半導体層に第2の元素を供給することが好ましい。第2の元素は、アルゴン、クリプトンまたはキセノンであることが好ましい。

発明の効果

[0024]

本発明の一態様により、微細なサイズのトランジスタを有する半導体装置を提供できる。または、チャンネル長の短いトランジスタを有する半導体装置を提供できる。または、オン電流の大きいトランジスタを有する半導体装置を提供できる。または、電界効果移動度の高いトランジスタを有する半導体装置を提供できる。または、電気特性が良好なトランジスタを有する半導体装置を提供できる。または、高速に動作する半導体装置を提供できる。または、占有面積の小さい半導体装置を提供できる。または、配線抵抗の低い半導体装置を提供できる。または、消費電力の低い半導体装置または表示装置を提供できる。または、信頼性の高いトランジスタ、半導体装置、または表示装置を提供できる。または、高精細の表示装置を提供できる。または、生産性の高い半導体装置または表示装置の作製方法を提供できる。または、新規なトランジスタ、半導体装置、表示装置、またはこれらの作製方法を提供できる。

[0025]

なお、これらの効果の記載は、他の効果の存在を妨げるものではない。本発明の一態様は、必ずしも、これらの効果の全てを有する必要はない。明細書、図面、請求項の記載から、これら以外の効果を抽出することが可能である。

図面の簡単な説明

[0026]

図1Aは、半導体装置の一例を示す上面図である。図1B及び図1Cは、半導体装置の一例を示す断

面図である。

図 2 A 乃至図 2 D は、半導体装置の一例を示す斜視図である。

図 3 A は、半導体装置の一例を示す上面図である。図 3 B は、半導体装置の一例を示す断面図である。

図 4 は、半導体装置の一例を示す断面図である。

図 5 A 及び図 5 B は、不純物元素の濃度の一例を示す図である。

図 6 は、不純物元素の濃度の比の一例を示す図である。

図 7 は、半導体装置の一例を示す断面図である。

図 8 A 及び図 8 B は、不純物元素の濃度の比の一例を示す図である。

図 9 は、不純物元素の濃度の比の一例を示す図である。

図 10 は、半導体装置の一例を示す断面図である。

図 11 A 乃至図 11 D は、半導体装置の一例を示す断面図である。

図 12 は、半導体装置の一例を示す断面図である。

図 13 A 乃至図 13 C は、半導体装置の一例を示す断面図である。

図 14 A 及び図 14 B は、半導体装置の一例を示す断面図である。

図 15 A 及び図 15 B は、半導体装置の一例を示す断面図である。

図 16 A 及び図 16 B は、半導体装置の一例を示す断面図である。

図 17 A 及び図 17 B は、半導体装置の一例を示す断面図である。

図 18 は、半導体装置の一例を示す断面図である。

図 19 A 及び図 19 B は、半導体装置の一例を示す断面図である。

図 20 A は、半導体装置の一例を示す上面図である。図 20 B 及び図 20 C は、半導体装置の一例を示す断面図である。

図 21 A 乃至図 21 I は、半導体装置の一例を示す回路図である。

図 22 A は、半導体装置の一例を示す上面図である。図 22 B 及び図 22 C は、半導体装置の一例を示す断面図である。

図 23 A は、半導体装置の一例を示す上面図である。図 23 B 及び図 23 C は、半導体装置の一例を示す断面図である。

図 24 A は、半導体装置の一例を示す上面図である。図 24 B は、半導体装置の一例を示す断面図である。

図 25 A は、半導体装置の一例を示す上面図である。図 25 B は、半導体装置の一例を示す断面図である。

図 26 A 及び図 26 B は、半導体装置の等価回路図である。図 26 C は、半導体装置の一例を示す上面図である。

図 27 は、半導体装置の一例を示す断面図である。

図 28 は、半導体装置の一例を示す斜視図である。

図 29 A 乃至図 29 D は、半導体装置の一例を示す斜視図である。

図 30 A 及び図 30 B は、半導体装置の等価回路図である。図 30 C は、半導体装置の一例を示す上面図である。

図 31 は、半導体装置の一例を示す断面図である。

図 32 は、半導体装置の一例を示す斜視図である。

図 33 A 乃至図 33 D は、半導体装置の一例を示す斜視図である。

図34A乃至図34Eは、半導体装置の作製方法の一例を示す断面図である。  
図35A乃至図35Dは、半導体装置の作製方法の一例を示す断面図である。  
図36A乃至図36Cは、半導体装置の作製方法の一例を示す断面図である。  
図37は、半導体装置の作製方法の一例を示す断面図である。  
図38A及び図38Bは、半導体装置の作製方法の一例を示す断面図である。  
図39は、表示装置の一例を示す斜視図である。  
図40A及び図40Bは、表示装置の一例を示す断面図である。  
図41は、表示装置の一例を示す断面図である。  
図42A乃至図42Cは、表示装置の一例を示す断面図である。  
図43A及び図43Bは、表示装置の一例を示す断面図である。  
図44は、表示装置の一例を示す断面図である。  
図45は、表示装置の一例を示す断面図である。  
図46は、表示装置の一例を示す断面図である。  
図47A及び図47Bは、表示装置の一例を示す断面図である。  
図48A乃至図48Dは、電子機器の一例を示す図である。  
図49A乃至図49Fは、電子機器の一例を示す図である。  
図50A乃至図50Gは、電子機器の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0027]

実施の形態について、図面を用いて詳細に説明する。但し、本発明は以下の説明に限定されず、本発明の趣旨及びその範囲から逸脱することなくその形態及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。従って、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。

[0028]

なお、以下に説明する発明の構成において、同一部分また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、ハッチングパターンを同じくし、特に符号を付さない場合がある。

[0029]

図面において示す各構成の、位置、大きさ、及び、範囲などは、理解の簡単のため、実際の位置、大きさ、及び、範囲などを表していない場合がある。このため、開示する発明は、必ずしも、図面に開示された位置、大きさ、及び、範囲などに限定されない。

[0030]

なお、本明細書等において、「第1」、「第2」という序数詞は、便宜上用いるものであり、構成要素の数、または、構成要素の順序（例えば、工程順、または積層順）を限定するものではない。また、本明細書のある箇所において構成要素に付す序数詞と、本明細書の他の箇所、または特許請求の範囲において、当該構成要素に付す序数詞と、が一致しない場合がある。

[0031]

なお、「膜」という言葉と、「層」という言葉とは、場合によっては、または、状況に応じて、互いに入れ替えることが可能である。例えば、「導電層」という用語を、「導電膜」という用語に変更することが可能である。または、例えば、「絶縁膜」という用語を、「絶縁層」という用語に変更すること

が可能である。

[0032]

トランジスタは半導体素子の一種であり、電流または電圧を増幅する機能、及び、導通または非導通を制御するスイッチング動作など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) 及び薄膜トランジスタ (TFT: Thin Film Transistor) を含む。

[0033]

「ソース」と「ドレイン」の機能は、異なる極性のトランジスタを採用する場合、または回路動作において電流の方向が変化する場合などには入れ替わることがある。このため、本明細書においては、「ソース」と「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。なお、トランジスタのソース及びドレインの呼称については、ソース端子及びドレイン端子、またはソース電極及びドレイン電極等、状況に応じて適切に言い換えることができる。

[0034]

本明細書等において、「電氣的に接続」には、「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。例えば、「何らかの電氣的作用を有するもの」には、電極または配線をはじめ、トランジスタなどのスイッチング素子、抵抗素子、コイル、その他の各種機能を有する素子などが含まれる。

[0035]

本明細書等において、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）にあるときのソースドレイン間のリーク電流をいう。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。

[0036]

本明細書等において、構成要素の上面形状とは、上面視（平面視ともいう）における当該構成要素の輪郭形状を指す。また、上面視とは、当該構成要素の被形成面、または当該構成要素が形成される支持体（例えば、基板）の表面の法線方向から見ることを指す。

[0037]

本明細書等において「上面形状が概略一致」とは、積層した層と層との間で少なくとも輪郭の一部が重なることをいう。例えば、上層と下層とが、同一のマスクパターン、または一部が同一のマスクパターンにより加工された場合を含む。ただし、厳密には輪郭が重なり合わず、上層が下層の内側に位置すること、または上層が下層の外側に位置することもあり、この場合も「上面形状が概略一致」という場合がある。また、上面形状が一致または概略一致している場合、端部が揃っている、または概略揃っているということもできる。

[0038]

なお、本明細書等において、テーパ形状とは、構造の側面の少なくとも一部が、基板面または被形成面に対して傾斜して設けられている形状のことを指す。また、傾斜した側面と基板面または被形成面とがなす角を、テーパ角ということがある。なお、構造の側面、基板面、及び被形成面は、必ずしも完全に平坦である必要はなく、微小な曲率を有する略平面状、または微細な凹凸を有する略平面状であってもよい。

[0039]

本明細書等において、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、本明細書等において、メタルマスク、またはFMMを用いずに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。なお、MML構造のデバイスは、メタルマスクを用いることなく製造することができるため、メタルマスクの合わせ精度に起因する精細度の上限を超えることができる。また、MML構造のデバイスは、メタルマスクの製造に係る設備およびメタルマスクの洗浄工程を不要にすることができる。また、MML構造のデバイスは、製造コストを低く抑えることが可能となるため、大量生産に適している。

[0040]

本明細書等では、発光波長が異なる発光素子（発光デバイスともいう）で発光層を作り分ける構造をSBS（Side By Side）構造と呼ぶ場合がある。SBS構造は、発光素子ごとに材料及び構成を最適化することができるため、材料及び構成の選択の自由度が高まり、輝度の向上及び信頼性の向上を図ることが容易となる。

[0041]

本明細書等において、正孔または電子を、「キャリア」といって示す場合がある。例えば、発光素子における正孔注入層または電子注入層を「キャリア注入層」といい、正孔輸送層または電子輸送層を「キャリア輸送層」といい、正孔ブロック層または電子ブロック層を「キャリアブロック層」という場合がある。なお、上述のキャリア注入層、キャリア輸送層、及びキャリアブロック層は、明確に区別できない場合がある。また、1つの層が、キャリア注入層、キャリア輸送層、及びキャリアブロック層のうち2つまたは3つの機能を兼ねる場合がある。

[0042]

本明細書等において、発光素子は、一対の電極間にEL層を有する。EL層は、少なくとも発光層を有する。ここで、EL層が有する層（機能層ともいう）として、発光層、キャリア注入層（正孔注入層及び電子注入層）、キャリア輸送層（正孔輸送層及び電子輸送層）、及び、キャリアブロック層（正孔ブロック層及び電子ブロック層）などが挙げられる。本明細書等において、受光素子（受光デバイスともいう）は、一対の電極間に少なくとも光電変換層として機能する活性層を有する。本明細書等では、一対の電極の一方を画素電極と記し、他方を共通電極と記すことがある。

[0043]

本明細書等において、犠牲層（マスク層と呼称してもよい）とは、少なくとも発光層（より具体的には、EL層を構成する層のうち、島状に加工される層）の上方に位置し、製造工程中において、当該発光層を保護する機能を有する。

[0044]

本明細書等において、段切れとは、層、膜、または電極が、被形成面の形状（例えば段差など）に起因して分断される現象を示す。

[0045]

(実施の形態1)

本実施の形態では、本発明の一態様の半導体装置について、図1A乃至図33Dを用いて説明する。

[0046]

本発明の一態様は、半導体層と、第1の導電層と、第2の導電層と、第3の導電層と、第1の絶縁

層と、第2の絶縁層と、を有する半導体装置である。第1の導電層は、トランジスタのソース電極及びドレイン電極の一方として機能し、第2の導電層は、他方として機能する。第3の導電層は、ゲート電極の一方として機能する。第2の絶縁層は、ゲート絶縁層として機能する。半導体層の第1の導電層と接する領域は、ソース領域及びドレイン領域の一方として機能し、第2の導電層と接する領域は、他方として機能する。

[0047]

第1の絶縁層は、第1の導電層上に位置し、第1の導電層に達する第1の開口部を有する。第1の絶縁層の第1の開口部における側面と、第1の導電層の上面のなす角度は、66度以上90度以下である。第2の導電層は、第1の絶縁層上に位置し、第1の開口部と重なる領域に第2の開口部を有する。半導体層は、第1の開口部において、第1の導電層の上面と接する第1の領域と、第1の絶縁層の側面と接する第2の領域と、を有する。また、半導体層は、第2の開口部において、第2の導電層の側面と接する領域を有するとともに、第2の導電層の上面と接する第3の領域を有する。第2の絶縁層は、半導体層上に位置する。第3の導電層は、第2の絶縁層を介して、半導体層と重なる領域を有する。

[0048]

第1の領域、第3の領域及び第2の絶縁層はそれぞれ、不純物元素を有する。不純物元素として、第1の元素を用いることが好ましい。第1の元素として、ホウ素、アルミニウム、インジウム、炭素、シリコン、ゲルマニウム、スズ、リン、ヒ素、アンチモン、マグネシウム、カルシウム、チタン、銅、亜鉛、タンゲステン、モリブデン、タンタル、ハフニウム、セリウム、及び貴ガス（ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノン等）のうち一種または複数種を用いることが好ましい。

[0049]

第1の領域及び第3の領域が不純物元素を有することにより、ソース領域及びドレイン領域の電気抵抗を低くすることができ、オン電流の大きいトランジスタとすることができる。

[0050]

第2の領域は、トランジスタのチャンネル形成領域として機能する。第2の領域における第1の元素の濃度は、第1の領域における第1の元素の濃度の $1 \times 10^{-3}$ 倍以下であることが好ましい。第2の領域における第1の元素の濃度は、第3の領域における第1の元素の濃度の $1 \times 10^{-3}$ 倍以下であることが好ましい。第2の領域における第1の元素の濃度を低くすることにより、しきい値電圧がシフトすることを抑制でき、良好な電気特性を有するトランジスタとすることができる。

[0051]

本発明の一態様のトランジスタは、ソース電極とドレイン電極とが、異なる高さに位置し、半導体層を流れる電流は、高さ方向に流れる。すなわち、チャンネル長方向が高さ方向（縦方向）の成分を有するといえるため、本発明の一態様のトランジスタは、VFET (Vertical Field Effect Transistor)、縦型トランジスタ、縦型チャンネルトランジスタ、縦チャンネル型トランジスタなどとも呼ぶことができる。

[0052]

本発明の一態様のトランジスタは、ソース電極、半導体層、及びドレイン電極を、重ねて設けることができるため、半導体層を平面状に配置した、いわゆるプレナー型のトランジスタと比較して、占有面積を大幅に縮小できる。

[0053]

<構成例1>

[構成例1-1]

本発明の一態様である半導体装置について、説明する。半導体装置10の上面図(平面図ともいう)を、図1Aに示す。図1Aに示す一点鎖線A1-A2における切断面の断面図を図1Bに示し、一点鎖線B1-B2における切断面の断面図を図1Cに示す。なお、図1Aにおいて、半導体装置10の構成要素の一部(ゲート絶縁層等)を省略している。半導体装置の上面図については、以降の図面においても図1Aと同様に、構成要素の一部を省略する。半導体装置10の斜視図を、図2A乃至図2Dに示す。図2Bは、図2Aに示す一点鎖線C1-C2における切断面を示している。図2Cでは、図2Aに示す絶縁層を透過させ、輪郭を破線で示している。同様に、図2Dでは、図2Bに示す絶縁層を透過させ、輪郭を破線で示している。図1A及び図1Bの拡大図を、図3A及び図3Bに示す。

[0054]

半導体装置10は、トランジスタ100と、絶縁層110と、を有する。半導体装置10は、基板102上に設けられる。

[0055]

トランジスタ100は、導電層104と、絶縁層106と、半導体層108と、導電層112aと、導電層112bと、を有する。導電層104は、ゲート電極として機能する。絶縁層106の一部は、ゲート絶縁層として機能する。導電層112aはソース電極及びドレイン電極の一方として機能し、導電層112bは他方として機能する。半導体層108のうち、ソース電極とドレイン電極との間において、ゲート絶縁層を介してゲート電極と重なる領域がチャンネル形成領域として機能する。また、半導体層108のうち、ソース電極と接する領域はソース領域として機能し、ドレイン電極と接する領域はドレイン領域として機能する。

[0056]

基板102上に導電層112aが設けられ、導電層112a上に絶縁層110が設けられ、絶縁層110上に導電層112bが設けられる。絶縁層110は、導電層112a及び導電層112bと接し、これらに挟持される領域を有する。導電層112aは、絶縁層110を介して導電層112bと重なる領域を有する。絶縁層110は、導電層112aに達する開口部141を有する。開口部141において、導電層112aが露出するともいえる。導電層112bは、導電層112aと重なる領域に開口部143を有する。開口部143は、開口部141と重なる領域に設けられる。

[0057]

半導体層108は、開口部141及び開口部143を覆うように設けられる。半導体層108は、開口部141において導電層112aの上面と接する領域及び絶縁層110の側面と接する領域を有し、開口部143において導電層112bの側面と接する領域を有する。さらに、半導体層108は、導電層112bの上面と接する領域を有することが好ましい。半導体層108は、導電層112bの上面及び側面、絶縁層110の側面、並びに導電層112aの上面の形状に沿った形状を有する。

[0058]

半導体層108に用いる半導体材料は、特に限定されない。例えば、単体元素よりなる半導体、または化合物半導体を用いることができる。単体元素よりなる半導体として、例えば、シリコン、及びゲルマニウムが挙げられる。化合物半導体として、例えば、ヒ化ガリウム、及びシリコンゲルマニウムが挙げられる。その他、化合物半導体として、例えば、有機半導体、窒化物半導体、及び酸化物半導体(OS:Oxide Semiconductor)が挙げられる。なお、これらの半導体材料

に、ドーパントとして不純物が含まれてもよい。

[0059]

半導体層108に用いる半導体材料の結晶性は特に限定されず、非晶質半導体、単結晶半導体、または単結晶以外の結晶性を有する半導体（微結晶半導体、多結晶半導体、または一部に結晶領域を有する半導体）のいずれを用いることができる。単結晶半導体または結晶性を有する半導体を用いると、トランジスタ特性の劣化を抑制できるため好ましい。

[0060]

半導体層108は、例えば、シリコンを用いることができる。シリコンとして、単結晶シリコン、多結晶シリコン、微結晶シリコン、及び非晶質シリコンが挙げられる。多結晶シリコンとして、例えば、低温ポリシリコン（LTPS: Low Temperature Poly Silicon）が挙げられる。チャンネル形成領域に非晶質シリコンを用いたトランジスタは、大型のガラス基板上に形成でき、低コストで作製することができる。チャンネル形成領域に多結晶シリコンを用いたトランジスタは、電界効果移動度が高く、高速動作が可能である。また、チャンネル形成領域に微結晶シリコンを用いたトランジスタは、非晶質シリコンを用いたトランジスタより電界効果移動度が高く、高速動作が可能である。

[0061]

半導体層108は、半導体特性を示す金属酸化物（酸化物半導体ともいう）を有することが好ましい。酸化物半導体を用いたトランジスタ（以下、OSトランジスタと記す）は、非晶質シリコンを用いたトランジスタと比較して電界効果移動度が極めて高い。また、OSトランジスタは、オフ電流が著しく小さく、当該トランジスタと直列に接続された容量に蓄積した電荷を長期間に亘って保持することが可能である。また、OSトランジスタを適用することで、半導体装置の消費電力を低減することができる。

[0062]

半導体層108は、その一部に領域108Daを有し、他の一部に領域108Dbを有する。領域108Da及び領域108Dbはそれぞれ、不純物元素を有する。領域108Da及び領域108Dbはそれぞれ、半導体層108の他の領域（例えば、チャンネル形成領域）よりも不純物元素の濃度が高く、かつ、電気抵抗が低い領域（以下、低抵抗領域とも記す）である。半導体層108において、チャンネル形成領域は、領域108Daと領域108Dbの間に位置する。

[0063]

図1B、図1C及び図3Bは、半導体層108の導電層112aの上面と接する領域のうち、導電層112aの上面と導電層104の下面との間に位置する領域に、領域108Daが形成されている例を示す。領域108Daが形成される領域は、これに限られず、例えば、導電層112aの上面と接する領域全体に、領域108Daが形成される構成とすることができる。例えば、半導体層108に不純物元素が供給される際に、または不純物元素が供給された後の工程で加わる熱によって、不純物元素が拡散する場合がある。

[0064]

図1B、図1C及び図3Bでは、半導体層108の導電層112bの上面と接する領域に、領域108Dbが形成されている例を示す。なお、領域108Dbは、半導体層108における、導電層112bの側面と接する領域にも設けられる構成とすることができる。また、領域108Dbは、半導体層108における、絶縁層110の側面と接する領域の一部にも設けられる構成とすることがで

きる。

[0065]

不純物元素として、第1の元素を用いることが好ましい。または、不純物元素として、第1の元素と、水素と、の双方を用いることが好ましい。

[0066]

第1の元素として、ホウ素、アルミニウム、インジウム、炭素、シリコン、ゲルマニウム、スズ、リン、ヒ素、アンチモン、マグネシウム、カルシウム、チタン、銅、亜鉛、タングステン、モリブデン、タンタル、ハフニウム、セリウム、及び貴ガス（ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノン等）のうち一種または複数種を用いることが好ましい。

[0067]

なお、第1の元素として、上記の元素に限られず、第一遷移元素（3d遷移元素、3d遷移金属）、第二遷移元素（4d遷移元素、4d遷移金属）、第三遷移元素（5d遷移元素、5d遷移金属）、アルカリ土類金属元素、及び、希土類元素に含まれる元素のうち、一種または複数種を用いることができる。

[0068]

ソース領域及びドレイン領域に、第1の元素を供給する（第1の元素を添加する、または第1の元素を注入する、ということもできる）ことで、ソース領域及びドレイン領域に酸素欠損（ $V_o$ : Oxygen Vacancy）が生じる。そして、当該酸素欠損（ $V_o$ ）に水素が入った欠陥（以下、 $V_oH$ とも記す）によりキャリアが生成される。これにより、ソース領域及びドレイン領域の電気抵抗を低くすることができる。また、半導体層108の電気抵抗、半導体層108と導電層112aとの接触抵抗、及び、半導体層108と導電層112bとの接触抵抗をそれぞれ低くすることができる。したがって、トランジスタ100のオン電流を大きくすることができる。オン電流を大きくすることで、トランジスタ100の動作電圧を低くすることができる。これにより、半導体装置の消費電力の低減を図ることができる。

[0069]

第1の元素として酸素と結合しやすい元素を用いる場合、第1の元素は半導体層108中の酸素を奪い、酸素と結合した状態で存在する。また、半導体層108中には酸素欠損（ $V_o$ ）が生じる。第1の元素として酸素と結合して安定になる元素を用いると、半導体層108中の第1の元素は酸化された状態で安定に存在するため、トランジスタ100の作製工程中に加わる熱などで脱離しにくく、電気抵抗を低く保つことができる。このことから、第1の元素として、少なくとも作製工程中の温度においてその酸化物が固体で存在しうる元素を用いることが好ましい。具体的には、好ましい第1の元素として、水素以外の典型非金属元素、典型金属元素、及び遷移元素（遷移金属）が挙げられ、特に好ましい第1の元素として、ホウ素、リン、マグネシウム、アルミニウム、及び、シリコンが挙げられる。

[0070]

以上のことから、第1の元素の一つとして、ホウ素、リン、マグネシウム、アルミニウム、またはシリコンを用いることが好ましい。特に、第1の元素の一つとして、ホウ素またはリンを用いることが好ましい。

[0071]

水素は、酸素欠損を生じさせる機能に加えて、酸素欠損と結合する機能も有するため、不純物元素

として好適である。

[0072]

不純物元素の供給には、プラズマイオンドーピング法またはイオン注入法を好適に用いることができる。これらの方法は、イオンの加速エネルギー及びドーズ量により、深さ方向の濃度プロファイルの高い精度で制御することができる。なお、原料ガスをイオン化し、当該イオンを質量分離して供給するイオン注入法を用いることで、特定の質量のイオンを供給でき、供給される不純物元素の純度を高めることができる。または、イオンを質量分離せずに供給するプラズマイオンドーピング法を用いることで、生産性を高めることができる。

[0073]

第1の元素としてホウ素を用いる場合、原料ガスとして、例えば、 $\text{BF}_3$  ガスを用いることができる。第1の元素としてリンを用いる場合、原料ガスとして、例えば、 $\text{PH}_3$  ガスを用いることができる。また、これらのガスから生じたイオンを質量分離して供給することにより、特定の質量のイオンを領域108Da及び領域108Dbに供給でき、より好ましい。

[0074]

不純物元素として、第1の元素と、水素と、の双方を用いることで、領域108Da及び領域108Dbそれぞれの電気抵抗を低くしやすく、かつ、電気抵抗が低い状態を保つことができる。

[0075]

第1の元素と、水素と、の双方を供給する場合、原料ガスとして、第1の元素及び水素を含むガス（例えば、 $\text{PH}_3$  ガス及び $\text{B}_2\text{H}_6$  ガス）を用いることができる。または、原料ガスとして、第1の元素を含むガスと水素を有するガスとの混合ガスを用いることもできる。第1の元素及び水素を含む原料ガスを用いることにより、原料ガスから生じたイオンを質量分離せずに供給することができるため、生産性を高めることができ、好ましい。例えば、原料ガスとして $\text{B}_2\text{H}_6$  ガスを用いることで、不純物元素としてホウ素と水素を供給することができる。また、例えば、原料ガスとして $\text{PH}_3$  ガスを用いることで、不純物元素としてリンと水素を供給することができる。

[0076]

領域108Daは、不純物元素の濃度 $N_a$ が $1 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{23} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、好ましくは $5 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{22} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、より好ましくは $5 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{21} \text{ atoms/cm}^3$ 以下である部分を含むことが好ましい。例えば、第1の元素としてホウ素を用いる場合、領域108Daはホウ素の濃度 $N_a$ が前述の範囲である部分を含むことが好ましい。

[0077]

領域108Dbは、不純物元素の濃度 $N_b$ が $1 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{23} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、好ましくは $5 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{22} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、より好ましくは $5 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{21} \text{ atoms/cm}^3$ 以下である部分を含むことが好ましい。例えば、第1の元素としてホウ素を用いる場合、領域108Dbはホウ素の濃度 $N_b$ が前述の範囲である部分を含むことが好ましい。

[0078]

領域108Daが2種類以上の不純物元素を含む場合は、少なくとも1種類が上記の範囲であることが好ましい。また、それぞれの不純物元素の濃度が、上記の範囲であるとより好ましい。領域108Dbについても同様である。

[0079]

なお、領域108Da及び領域108Dbに不純物元素を供給する際、半導体層108のチャンネル形成領域にも不純物元素が供給される場合がある。または、作製工程中に加わる熱などにより、領域108Da及び領域108Dbそれぞれに含まれる不純物元素の一部がチャンネル形成領域に拡散する場合がある。

[0080]

半導体層108のチャンネル形成領域における不純物元素の濃度 $N_c$ は、低いことが好ましい。濃度 $N_c$ は、領域108Daにおける不純物元素の濃度 $N_a$ より低いことが好ましい。濃度 $N_c$ は、領域108Dbにおける不純物元素の濃度 $N_b$ より低いことが好ましい。これにより、チャンネル形成領域のキャリア濃度が高くなることを抑制できる。ここで、チャンネル形成領域のキャリア濃度が高いと、トランジスタのしきい値電圧がシフトし、ゲート電圧が0V時に流れるドレイン電流（以下、カットオフ電流とも記す）が大きくなってしまう場合がある。例えば、nチャンネル型トランジスタの場合、しきい値電圧がマイナス側にシフトすることで、カットオフ電流が大きくなってしまう場合がある。チャンネル形成領域のキャリア濃度が高くなることを抑制することにより、しきい値電圧がシフトすることが抑制され、カットオフ電流が小さいトランジスタとすることができる。したがって、消費電力の低い半導体装置とすることができる。

[0081]

濃度 $N_c$ は、濃度 $N_a$ の $1 \times 10^{-1}$ 倍以下であることが好ましく、さらには $1 \times 10^{-2}$ 倍以下であることが好ましく、さらには $1 \times 10^{-3}$ 倍以下であることが好ましく、さらには $1 \times 10^{-4}$ 倍以下であることが好ましい。同様に、濃度 $N_c$ は、濃度 $N_b$ の $1 \times 10^{-1}$ 倍以下であることが好ましく、さらには $1 \times 10^{-2}$ 倍以下であることが好ましく、さらには $1 \times 10^{-3}$ 倍以下であることが好ましく、さらには $1 \times 10^{-4}$ 倍以下であることが好ましい。これにより、小さいカットオフ電流と、大きいオン電流が両立したトランジスタとすることができる。したがって、低い消費電力と高い性能が両立した半導体装置とすることができる。

[0082]

濃度 $N_a$ に対する、濃度 $N_c$ の比 $P_a$ は、数式(2)で表すことができる。濃度 $N_b$ に対する、濃度 $N_c$ の比 $P_b$ は、数式(3)で表すことができる。比 $P_a$ 及び比 $P_b$ はそれぞれ無次元量であり、0より大きい実数である。

[0083]

[数2]

$$P_a = \frac{N_c}{N_a} \quad (2)$$

$$P_b = \frac{N_c}{N_b} \quad (3)$$

[0084]

比 $P_a$ 及び比 $P_b$ はそれぞれ、 $1 \times 10^{-1}$ 以下が好ましく、さらには $1 \times 10^{-2}$ 以下が好ましく、さらには $1 \times 10^{-3}$ 以下が好ましく、さらには $1 \times 10^{-4}$ 以下が好ましい。これにより、小さいカットオフ電流と、大きいオン電流が両立したトランジスタとすることができる。したがって、低い消

費電力と高い性能が両立した半導体装置とすることができる。

[0085]

半導体層108のチャンネル形成領域、領域108Da、及び領域108Dbにおける不純物元素の濃度（ここでは、濃度Na、濃度Nb及び濃度Nc）の分析には、例えば、二次イオン質量分析法（SIMS: Secondary Ion Mass Spectrometry）、またはX線光電子分光法（XPS: X-ray Photoelectron Spectrometry、またはESCA: Electron Spectrometry for Chemical Analysis）を用いることができる。XPS分析を用いる場合には、試料の表面側または裏面側からのイオンスパッタリングとXPS分析を組み合わせることで、深さ方向の濃度分布を知ることができる。なお、前述したように、チャンネル形成領域における濃度Ncは低いことが好ましい。したがって、濃度Ncは定量が困難となる、または検出下限未満となる場合がある。

[0086]

本発明の一態様の半導体装置の作製において、チャンネル形成領域と比較して、半導体層108のソース領域及びドレイン領域に不純物元素が供給されやすい方法を用いることが好ましい。不純物元素は、基板102の上面に対して垂直または概略垂直な方向から供給されることが好ましい。このとき、半導体層108において、基板102の上面に対して傾斜している領域は、基板102の上面に対して平行または概略平行な領域と比べて、供給される不純物元素の量が少なくなる。つまり、半導体層108のソース領域及びドレイン領域は、チャンネル形成領域と比較して、供給される不純物元素の量が多くなる。したがって、優先的にソース領域及びドレイン領域の電気抵抗を低くすることができる。

[0087]

絶縁層110として、無機絶縁層及び有機絶縁層の一方または双方を用いることができる。有機絶縁層に用いることができる材料として、例えば、アクリル樹脂、及びポリイミド樹脂が挙げられる。絶縁層110は、1層以上の無機絶縁層を有することが好ましい。無機絶縁層に用いることができる材料として、例えば、酸化物、窒化物、酸化窒化物、及び窒化酸化物が挙げられる。酸化物として、例えば、酸化シリコン、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、酸化タンタル、酸化セリウム、ガリウム亜鉛酸化物、及び、ハフニウムアルミネートが挙げられる。窒化物として、例えば、窒化シリコン、及び窒化アルミニウムが挙げられる。酸化窒化物として、例えば、酸化窒化シリコン、酸化窒化アルミニウム、酸化窒化ガリウム、酸化窒化イットリウム、及び、酸化窒化ハフニウムが挙げられる。窒化酸化物として、例えば、窒化酸化シリコン、及び窒化酸化アルミニウムが挙げられる。

[0088]

なお、本明細書等において、酸化窒化物とは、その組成として窒素よりも酸素の含有量が多い材料を指す。窒化酸化物とは、その組成として酸素よりも窒素の含有量が多い材料を指す。

[0089]

絶縁層110は、半導体層108と接する領域を有する。半導体層108に金属酸化物を用いる場合、半導体層108と絶縁層110との界面特性を向上させるため、絶縁層110の半導体層108と接する領域の少なくとも一部は酸素を有することが好ましい。具体的には、絶縁層110における半導体層108のチャンネル形成領域と接する部分は、酸素を有することが好ましい。絶縁層110に

おける半導体層 108 のチャンネル形成領域と接する部分に、酸化物及び酸化窒化物の一以上を好適に用いることができる。

[0090]

半導体層 108 に金属酸化物を用いる場合、絶縁層 110 の半導体層 108 と接する領域の少なくとも一部は加熱により酸素を放出することが好ましい。これにより、絶縁層 110 から半導体層 108 に酸素が供給され、半導体層 108 中の酸素欠損 ( $V_o$ )、及び  $V_oH$  を低減することができる。

[0091]

トランジスタ 100 のゲート絶縁層として機能する絶縁層 106 は、開口部 141 及び開口部 143 を覆うように設けられる。絶縁層 106 は、半導体層 108、導電層 112b、及び絶縁層 110 上に設けられる。絶縁層 106 は、半導体層 108 の上面及び側面、導電層 112b の上面及び側面、並びに絶縁層 110 の上面と接する領域を有する。絶縁層 106 は、絶縁層 110 の上面、導電層 112b の上面及び側面、半導体層 108 の上面及び側面、並びに導電層 112a の上面の形状に沿った形状を有する。

[0092]

図 3B では、絶縁層 106 の領域 108Da と接する部分の厚さ  $T_a$ 、領域 108Db と接する部分の厚さ  $T_b$ 、及びチャンネル形成領域と接する部分の厚さ  $T_c$  を示している。厚さ  $T_a$ 、厚さ  $T_b$  及び厚さ  $T_c$  はそれぞれ、絶縁層 106 の被形成面に垂直または概略垂直な方向における厚さである。より具体的には、厚さ  $T_a$  は、導電層 112a の上面に沿って設けられる半導体層 108 の上面と、絶縁層 106 の上面との最短距離である。厚さ  $T_b$  は、導電層 112b の上面に沿って設けられる半導体層 108 の上面と、絶縁層 106 の上面との最短距離である。厚さ  $T_c$  は、絶縁層 110 の側面に沿って設けられる半導体層 108 の絶縁層 106 側の側面と、絶縁層 106 の導電層 104 側の側面との最短距離である。図 3B では、厚さ  $T_a$ 、厚さ  $T_b$  及び厚さ  $T_c$  が互いに同じである構成を示しているが、本発明の一態様はこれに限られない。厚さ  $T_a$ 、厚さ  $T_b$  及び厚さ  $T_c$  の一部または全てが異なる構成とすることもできる。

[0093]

前述したように、絶縁層 106 の一部はゲート絶縁層として機能する。絶縁層 106 のチャンネル形成領域と接する部分の厚さ  $T_c$  は、1 nm 以上 200 nm 以下が好ましく、さらには 1 nm 以上 150 nm 以下が好ましく、さらには 1 nm 以上 100 nm 以下が好ましい。例えば、チャンネル長が 100 nm 以上 500 nm 以下の場合、厚さ  $T_c$  は、30 nm 以上 100 nm 以下が好ましい。また、例えば、チャンネル長が 10 nm 以上 100 nm 以下の場合、厚さ  $T_c$  は、1 nm 以上 50 nm 以下が好ましい。また、例えば、チャンネル長が 1 nm 以上 10 nm 以下の場合、厚さ  $T_c$  は、1 nm 以上 10 nm 以下が好ましい。

[0094]

トランジスタ 100 のゲート電極として機能する導電層 104 は、絶縁層 106 上に設けられ、絶縁層 106 の上面と接する領域を有する。導電層 104 は、絶縁層 106 を介して、半導体層 108 と重なる領域を有する。導電層 104 は、絶縁層 106 の上面の形状に沿った形状を有する。

[0095]

トランジスタ 100 は、半導体層 108 よりも上方にゲート電極を有する、いわゆるトップゲート型のトランジスタである。さらに、半導体層 108 の下面がソース電極及びドレイン電極と接することから、TGBC (Top Gate Bottom Contact) 型のトランジスタというこ

とができる。また、トランジスタ100は、被形成面である基板102の表面に対してソース電極とドレイン電極とが異なる高さに位置し、基板102の表面に対して垂直方向、または概略垂直方向にドレイン電流が流れる。トランジスタ100において、縦方向、または概略縦方向にドレイン電流が流れるということもできる。そのため、本発明の一態様であるトランジスタは、VFETということができる。

[0096]

トランジスタ100は、導電層112aと導電層112bの間に設けられる絶縁層110の厚さでチャンネル長を制御することができる。したがって、トランジスタの作製に用いる露光装置の露光の最小寸法よりも短いチャンネル長を有するトランジスタを精度高く作製できる。また、複数のトランジスタ100間の特性ばらつきも低減される。よって、半導体装置10の動作が安定し、信頼性を高めることができる。また、トランジスタの特性ばらつきが減ると、回路設計の自由度が高くなり、半導体装置の動作電圧を低くすることができる。よって、半導体装置の消費電力を低減できる。

[0097]

本発明の一態様のトランジスタは、ソース電極、半導体層、及びドレイン電極を、重ねて設けることができるため、半導体層を平面状に配置した、いわゆるプレナー型のトランジスタと比較して、占有面積を大幅に縮小できる。

[0098]

導電層112a、導電層112b、及び導電層104はそれぞれ、配線として機能することができ、トランジスタ100はこれらの配線が重なる領域に設けることができる。つまり、トランジスタ100及び配線を有する回路において、トランジスタ100及び配線の占有面積を縮小することができる。したがって、回路の占有面積を縮小することができ、小型の半導体装置とすることができる。

[0099]

例えば、本発明の一態様の半導体装置を表示装置の画素回路に適用する場合、画素回路の占有面積を縮小することができ、高精細の表示装置とすることができる。また、例えば、本発明の一態様の半導体装置を表示装置の駆動回路(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)に適用する場合、駆動回路の占有面積を縮小することができ、狭額縁の表示装置とすることができる。

[0100]

絶縁層110は、積層構造を有することが好ましい。図1B等では、絶縁層110が、絶縁層110aと、絶縁層110a上の絶縁層110bと、絶縁層110b上の絶縁層110cと、を有する例を示している。絶縁層110a、絶縁層110b及び絶縁層110cはそれぞれ、絶縁層110の説明で挙げた材料を用いることができる。

[0101]

半導体層108の絶縁層110bと接する領域は、チャンネル形成領域として機能する。絶縁層110bは酸素を有することが好ましく、前述の酸化物及び酸化窒化物のいずれか一つまたは複数を用いることが好ましい。具体的には、絶縁層110bには、酸化シリコン及び酸化窒化シリコンの一方または双方を好適に用いることができる。

[0102]

絶縁層110bには、加熱により酸素を放出する材料を用いるとより好ましい。半導体装置10の作製工程に加わる熱により、絶縁層110bが酸素を放出することで、半導体層108に酸素を供給することができる。絶縁層110bから半導体層108、特に半導体層108のチャンネル形成領域

に酸素を供給することで、酸素欠損 ( $V_o$ ) が修復され、酸素欠損 ( $V_o$ ) を低減することができる。また、 $V_oH$ を低減することができる。したがって、良好な電気特性を示し、かつ信頼性の高いトランジスタとすることができる。

[0103]

例えば、酸素を含む雰囲気における加熱処理、または、酸素を含む雰囲気におけるプラズマ処理を行うことで、絶縁層110bに酸素を供給することができる。また、絶縁層110bの上面に、スパッタリング法により、酸素を含む雰囲気中で膜を形成することで酸素を供給することができる。その後、当該膜を除去してもよい。なお、絶縁層110bに酸素を供給する方法については、実施の形態2で具体的に説明する。

[0104]

絶縁層110bは、スパッタリング法、またはプラズマ化学気相堆積 (PECVD: Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 法などの成膜方法で形成することが好ましい。特に、成膜ガスに水素を含むガス (例えば、水素ガス及びアンモニアガス) を用いない方法で形成することで、水素の含有量の極めて少ない膜とすることができる。絶縁層110bは、スパッタリング法を特に好適に用いることができる。これにより、チャネル形成領域に水素が供給されることを抑制し、トランジスタ100の電気特性を安定にすることができる。

[0105]

絶縁層110aは、絶縁層110bと導電層112aとの間に設けられる。絶縁層110cは、絶縁層110bと導電層112bとの間に設けられる。絶縁層110a及び絶縁層110cはそれぞれ、自身から放出される不純物 (例えば、水素及び水) の量が少ないことが好ましい。さらに、絶縁層110a及び絶縁層110cはそれぞれ、物質 (例えば、原子、分子及びイオン) が透過しにくいことが好ましい。絶縁層110a及び絶縁層110cは、バリア膜として機能するともいえる。具体的には、絶縁層110a及び絶縁層110cはそれぞれ、不純物が透過しにくいことが好ましい。これにより、絶縁層110a及び絶縁層110cに含まれる不純物が、チャネル形成領域に拡散することを抑制できる。したがって、良好な電気特性を示し、かつ信頼性の高いトランジスタとすることができる。

[0106]

絶縁層110a及び絶縁層110cはそれぞれ、酸素が透過しにくい材料を用いることが好ましい。これにより、絶縁層110bに含まれる酸素が、絶縁層110aを介して導電層112a側に拡散することを抑制できる。同様に、絶縁層110bに含まれる酸素が、絶縁層110cを介して導電層112b側に拡散することを抑制できる。これにより、絶縁層110bから半導体層108のチャネル形成領域へ供給される酸素の量が増え、チャネル形成領域の酸素欠損 ( $V_o$ ) 及び $V_oH$ を低減することができる。したがって、良好な電気特性を示し、かつ信頼性の高いトランジスタとすることができる。また、絶縁層110bに含まれる酸素によって導電層112aが酸化され、導電層112aの電気抵抗が高くなることを抑制できる。同様に、絶縁層110bに含まれる酸素によって導電層112bが酸化され、導電層112bの電気抵抗が高くなることを抑制できる。したがって、オン電流の大きいトランジスタとすることができる。

[0107]

なお、本明細書等において、バリア膜とは、バリア性を有する膜を指す。バリア性とは、対象とする物質が拡散しづらく、それにより当該物質が膜を透過することを抑制する機能 (透過性が低いとも

いう)、及び、当該物質を、捕獲、または固着する（ゲッタリングともいう）機能の一方または双方を指すものとする。例えば、バリア性を有する絶縁層を、バリア絶縁層とすることができる。

[0108]

バリア膜として機能する絶縁層110a及び絶縁層110cにはそれぞれ、例えば、アルミニウム及びハフニウム的一方または双方を有する酸化物、マグネシウムを有する酸化物、ガリウムを有する酸化物、シリコンを有する窒化物、及びシリコンを有する窒化酸化物の一または複数を用いることができる。具体的には、絶縁層110a及び絶縁層110cにはそれぞれ、例えば、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、ハフニウムアルミネート、酸化マグネシウム、酸化ガリウム、ガリウム亜鉛酸化物、窒化シリコン、及び窒化酸化シリコンの一または複数を選択して用いることができる。なお、絶縁層110aと絶縁層110cは同じ材料を用いることができる。または、絶縁層110aと絶縁層110cは異なる材料を用いることができる。

[0109]

絶縁層110cに酸化物または酸化窒化物を用いることにより、絶縁層110c（または絶縁層110cとなる絶縁膜）を形成する際に、絶縁層110b（または絶縁層110bとなる絶縁膜）に酸素を供給することができる。

[0110]

本明細書等において、異なる材料とは、構成元素の一部または全てが異なる材料、または構成元素が同じで組成が異なる材料をいう。

[0111]

不純物元素は、絶縁層106を介して、半導体層108に供給されることが好ましい。絶縁層106を介して半導体層108に不純物元素を供給することで、供給の際に半導体層108に加わるダメージを軽減することができる。不純物元素の供給について、図4を用いて説明する。図4の下側に、絶縁層106を介して半導体層108に不純物元素を供給する際の絶縁層106、半導体層108及びその近傍の断面図を示す。ここでは、基板102の上面に対して垂直な方向から不純物元素が供給される例を挙げて、説明する。なお、図4に示す断面図では、絶縁層106の表面（具体的には、絶縁層106の上面及び側面）が、絶縁層106の被形成面である半導体層108の上面及び側面と平行である構成を示している。

[0112]

図4では、不純物元素が供給される方向（ここでは、基板102の上面に対して垂直な方向）における、絶縁層106の絶縁層110の側面に沿って設けられている領域の厚さ $T_d$ を示している。厚さ $T_d$ として、例えば、絶縁層110bの上面端部と下面端部の中間点から、不純物元素が供給される方向（ここでは、基板102の上面に対して垂直な方向）に延びる直線上の絶縁層106の厚さを用いることができる。厚さ $T_d$ と比較して、導電層112aの上面に沿って設けられている領域の厚さ $T_a$ 、及び導電層112bの上面に沿って設けられている領域の厚さ $T_b$ は薄い。これにより、半導体層108における、導電層112aの上面または導電層112bの上面に沿って設けられている領域は、絶縁層110の側面に沿って設けられている領域に比べて、供給される不純物元素の量が多くなる。このように、半導体層108のチャンネル形成領域に不純物元素が供給されることを抑制し、優先的にソース領域及びドレイン領域の電気抵抗を低くすることができる。

[0113]

絶縁層106の厚さが大きいほど、厚さ $T_a$ と厚さ $T_d$ の差、及び厚さ $T_b$ と厚さ $T_d$ との差をそ

れぞれ大きくすることができる。したがって、半導体層 108 のチャンネル形成領域に不純物元素が供給されることを抑制し、優先的にソース領域及びドレイン領域の電気抵抗を低くすることができる。一方で、トランジスタを微細化する、または、極めて短いチャンネル長のトランジスタを作製するためには、オン電流の向上、短チャンネル効果の抑制などの観点から、厚さ  $T_c$  は小さい方が好ましい。

[0114]

不純物元素を、絶縁層 106 を介して半導体層 108 に供給する場合、絶縁層 106 も、不純物元素を有することがある。領域 108Da 及び領域 108Db はそれぞれ、絶縁層 106 よりも不純物元素の濃度が高い部分を有すると、領域 108Da 及び領域 108Db の電気抵抗をより低くできるため、好ましい。絶縁層 106 における不純物元素の濃度の分析については、半導体層 108 における不純物元素の濃度の分析に係る記載を参照できる。

[0115]

絶縁層 106 は、酸素を含む絶縁層を有することが好ましい。不純物元素として酸素と結合しやすい元素を用いる場合、半導体層 108 と同様に絶縁層 106 においても、不純物元素は酸素と結合した状態で存在する。酸素と不純物元素とが結合して安定になることにより、不純物元素を含む領域では、熱が加わっても酸素が脱離しにくくなるため、酸素が他の層に拡散することを抑制できる。これにより、絶縁層 106 から領域 108Da 及び領域 108Db に酸素が供給されることを抑制しつつ、チャンネル形成領域に酸素を効率的に供給することができる。したがって、領域 108Da 及び領域 108Db の電気抵抗が高くなることを防ぎつつ、チャンネル形成領域の酸素欠損を低減できる。その結果、電気特性が良好で、信頼性の高いトランジスタを実現できる。

[0116]

例えば、不純物元素としてホウ素を用いた場合、領域 108Da、領域 108Db 及び絶縁層 106 に含まれるホウ素は酸素と結合した状態で存在する。このことは、例えば、XPS 分析において、 $B_2O_3$  結合に起因するピークが観測されることで確認できる。また、XPS 分析において、ホウ素元素が単体で存在する状態に起因するスペクトルピークが観測されない、またはバックグラウンド程度にまでピーク強度が極めて小さくなる。

[0117]

不純物元素が絶縁層 106 を介して半導体層 108 に供給される場合、当該不純物元素は絶縁層 106 の表面から侵入し、絶縁層 106 を通過した後、絶縁層 106 と半導体層 108 の界面を介して、半導体層 108 に達する。このとき、不純物元素が供給される方向における絶縁層 106 の厚さは、不純物元素が絶縁層 106 の表面から半導体層 108 に達するまでの深さ  $D$  ともいえる。絶縁層 106 の各領域における深さ  $D$  を、図 4 の上側に示す。当該図において、横軸は断面視における絶縁層 106 の位置を示し、縦軸は深さ  $D$  を示す。絶縁層 106 の導電層 112a の上面に沿って設けられている領域における深さ  $D$  は、絶縁層 106 の厚さ  $T_a$  に相当する。絶縁層 106 の導電層 112b の上面に沿って設けられている領域における深さ  $D$  は、絶縁層 106 の厚さ  $T_b$  に相当する。絶縁層 106 の絶縁層 110 の側面に沿って設けられている領域における深さ  $D$  は、厚さ  $T_d$  に相当する。なお、不純物元素が絶縁層 106 を介して半導体層 108 に供給される場合、絶縁層 106 及び半導体層 108 をそれぞれ、被注入層と記す場合がある。

[0118]

図 4 の上側に示すように、絶縁層 106 の絶縁層 110 の側面に沿って設けられている領域における深さ " $T_d$ " は、導電層 112a の上面に沿って設けられている領域における深さ " $T_a$ " より

深く、導電層 112b の上面に沿って設けられている領域における深さ “T b” より深い。なお、図中で示す領域 A において、深さ D は “T a” と “T d” の間の値をとり、領域 B において、深さ D は “T b” と “T d” の間の値をとる。つまり、領域 A 及び領域 B において、深さ D は “T d” より小さい値となる。

[0119]

不純物元素の供給にプラズマイオンドーピング法またはイオン注入法を用いる場合、不純物元素の濃度はガウス分布で表すことができる。具体的には、深さ x における不純物元素の濃度 N (x) を数式 (4) で表すことができる。濃度 N (x) は、0 より大きい実数である。

[0120]

[数3]

$$N(x) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi}s^2} \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2s^2}\right) \quad (4)$$

[0121]

上記数式 (4) において、Q はドーズ量であり、m は投影飛程 (Projected Range、R p とも記す) であり、s は深さ方向の標準偏差 ( $\Delta R p$  とも記す) である。ドーズ量 Q、投影飛程 m 及び標準偏差 s はそれぞれ 0 より大きい実数である。なお、投影飛程 m は、注入においてイオンが停止する深さの平均値であり、深さ “m” において不純物元素の濃度が最も高くなる。

[0122]

投影飛程 m、標準偏差 s (分散  $s^2$ ) における不純物元素の濃度のガウス分布を、図 5 A に示す。図 5 A において、横軸は深さ D を線形スケールで示し、縦軸は濃度 N (D) を対数スケールで示す。図 5 A に示すように、投影飛程 m における濃度 N (m) が最も高くなり、図 5 A では “N<sub>max</sub>” と記している。

[0123]

投影飛程 m 及び標準偏差 s は、例えば、シミュレーションソフトを用いて算出することができる。当該シミュレーションソフトとして、例えば、TRIM (Transport of Ion in Matter)、及び SRIM (Stopping and Range of Ions in Matter) が挙げられる。これらは、モンテカルロ法によりイオン注入過程をシミュレーションするソフトである。シミュレーションのパラメータとして、供給される不純物元素の種類 (具体的には、イオンの種類)、被注入層の組成及び膜密度、並びに加速エネルギーを用いることができる。例えば、供給する不純物元素の質量数が大きいと、投影飛程 m が小さくなる。また、元素の種類によってイオン注入における阻止能の高さが異なるため、被注入層の組成によって投影飛程 m が異なる。また、被注入層の膜密度が高いと、阻止能が高くなり、投影飛程 m が小さくなる。したがって、被注入層 (例えば、絶縁層 106) に用いる材料によって、投影飛程 m を異ならせることができる。なお、膜密度とは、単位体積あたりの質量を指す。また、加速エネルギーが高いと、投影飛程 m が大きく、標準偏差 s が大きくなる。

[0124]

領域 108Da における不純物元素の濃度 N a は、深さ “T a” における不純物元素の濃度となり、数式 (5) で表すことができる。領域 108Db における不純物元素の濃度 N b は、深さ “T b” における不純物元素の濃度となり、数式 (6) で表すことができる。チャンネル形成領域における不純

物元素の濃度  $N_c$  は、深さ “ $T_d$ ” における不純物元素の濃度となり、数式 (7) で表すことができる。濃度  $N_a$ 、濃度  $N_b$  及び濃度  $N_c$  はそれぞれ、0 より大きい実数である。

[0125]

[数4]

$$N_a = N(T_a) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi s^2}} \exp\left(-\frac{(T_a - m)^2}{2s^2}\right) \quad (5)$$

$$N_b = N(T_b) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi s^2}} \exp\left(-\frac{(T_b - m)^2}{2s^2}\right) \quad (6)$$

$$N_c = N(T_d) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi s^2}} \exp\left(-\frac{(T_d - m)^2}{2s^2}\right) \quad (7)$$

[0126]

領域 108D<sub>a</sub> における不純物元素の濃度  $N_a$  に対する、チャンネル形成領域における不純物元素の濃度  $N_c$  の比  $P_a$  は、数式 (8) で表すことができる。領域 108D<sub>b</sub> における不純物元素の濃度  $N_b$  に対する、チャンネル形成領域における不純物元素の濃度  $N_c$  の比  $P_b$  は、数式 (9) で表すことができる。

[0127]

[数5]

$$P_a = \frac{N(T_d)}{N(T_a)} = \exp\left(-\frac{(T_d - m)^2 - (T_a - m)^2}{2s^2}\right) \quad (8)$$

$$P_b = \frac{N(T_d)}{N(T_b)} = \exp\left(-\frac{(T_d - m)^2 - (T_b - m)^2}{2s^2}\right) \quad (9)$$

[0128]

比  $P_a$  は、数式 (8) に示すように、厚さ  $T_a$ 、厚さ  $T_d$ 、投影飛程  $m$  及び標準偏差  $s$  で表すことができる。比  $P_b$  は、数式 (9) に示すように、厚さ  $T_b$ 、厚さ  $T_d$ 、投影飛程  $m$  及び標準偏差  $s$  で表すことができる。比  $P_a$  及び比  $P_b$  がそれぞれが前述の範囲となるように、厚さ  $T_a$ 、厚さ  $T_b$ 、厚さ  $T_d$ 、投影飛程  $m$  及び標準偏差  $s$  を設定することが好ましい。数式 (8) に示すように、厚さ  $T_d$  と厚さ  $T_a$  の差を大きくするほど比  $P_a$  を小さくすることができる。数式 (9) に示すように、厚さ  $T_d$  と厚さ  $T_b$  の差を大きくするほど比  $P_b$  を小さくすることができる。

[0129]

ここで、絶縁層 110 の側面と絶縁層 110 の被形成面（ここでは、導電層 112a の上面）とのなす角の角度  $\theta$  とすると、厚さ  $T_d$  は数式 (10) で表すことができる。角度  $\theta$  が 0 度より大きく 90 度未満の場合、 $\cos \theta$  は 0 より大きく 1 未満となる。したがって、厚さ  $T_d$  は厚さ  $T_c$  より厚くなる。また、角度  $\theta$  が小さいほど厚さ  $T_d$  が薄く、角度  $\theta$  が大きいほど厚さ  $T_d$  が厚くなる。つまり、角度  $\theta$  を大きくするほど、厚さ  $T_d$  と厚さ  $T_a$  の差を大きくすることができ、比  $P_a$  を小さくすることができる。同様に、角度  $\theta$  を大きくするほど、厚さ  $T_d$  と厚さ  $T_b$  の差を大きくする

ことができ、比P bを小さくすることができる。

[0130]

[数6]

$$Td = \frac{Tc}{\cos \theta} \quad (10)$$

[0131]

角度  $\theta$  は、90度以下が好ましく、さらには90度未満であることが好ましい。角度  $\theta$  を小さくすることにより、絶縁層110上に設けられる層（例えば、半導体層108、絶縁層106及び導電層104）の被覆性を高めることができ、当該層に段切れまたは鬆といった不具合が発生することを抑制できる。

[0132]

図4に示す断面図では、導電層112aの上面が、基板102の上面と平行である構成を示している。このとき、角度  $\theta$  は、絶縁層110の側面と基板102の上面とのなす角の角度と同じとなる。不純物元素は、導電層112aの上面に対して垂直または概略垂直な方向から供給されることが好ましい。つまり、不純物元素は、基板102の上面に対して垂直または概略垂直な方向から供給されることが好ましい。なお、断面視において、導電層112aの上面と基板102の上面が平行でない場合、不純物元素は、導電層112aの上面に対して垂直または概略垂直な方向から供給されることが好ましい。

[0133]

厚さTdを数式(10)で表すとき、比Paは数式(11)で表すことができ、比Pbは数式(12)で表すことができる。

[0134]

[数7]

$$Pa = \exp \left( - \frac{\left( \frac{Tc}{\cos \theta} - m \right)^2 - (Ta - m)^2}{2s^2} \right) \quad (11)$$

$$Pb = \exp \left( - \frac{\left( \frac{Tc}{\cos \theta} - m \right)^2 - (Tb - m)^2}{2s^2} \right) \quad (12)$$

[0135]

比Paは、数式(11)に示すように、角度  $\theta$ 、厚さTa、厚さTc、投影飛程m及び標準偏差sで表すことができる。比Pbは、数式(12)に示すように、角度  $\theta$ 、厚さTb、厚さTc、投影飛程m及び標準偏差sで表すことができる。比Pa及び比Pbそれぞれが前述の範囲となるように、角度  $\theta$ 、厚さTa、厚さTb、厚さTc、投影飛程m及び標準偏差sを設定することが好ましい。角度  $\theta$  が0度より大きく90度未満の場合、数式(11)及び数式(12)に示すように、角度  $\theta$  を大きくするほど比Pa及び比Pbを小さくすることができる。

[0136]

ここで、導電層112aの上面に沿って設けられる領域の絶縁層106と半導体層108の界面、及び導電層112bの上面に沿って設けられる領域の絶縁層106と半導体層108の界面において、不純物元素の濃度N(D)が最も高くなるとする。また、厚さTa、厚さTb及び厚さTcが互いに同じとする。つまり、投影飛程mを“Ta”とすると、図5Bに示すように、深さ“Ta”における濃度Na、及び深さ“Tb”における濃度Nbが最も高くなる。また、厚さTdを“Ta/cosθ”で表すと、比Paは数式(13)で表すことができ、比Pbは数式(14)で表すことができる。

[0137]

[数8]

$$Pa = \exp\left(-\frac{\left(\frac{Ta}{\cos\theta} - Ta\right)^2 - (Ta - Ta)^2}{2s^2}\right)$$

$$= \exp\left(-\frac{Ta^2\left(\frac{1}{\cos\theta} - 1\right)^2}{2s^2}\right) \quad (13)$$

$$Pb = \exp\left(-\frac{\left(\frac{Ta}{\cos\theta} - Ta\right)^2 - (Ta - Ta)^2}{2s^2}\right)$$

$$= \exp\left(-\frac{Ta^2\left(\frac{1}{\cos\theta} - 1\right)^2}{2s^2}\right) \quad (14)$$

[0138]

数式(13)及び数式(14)に示すように、比Pa及び比Pbはそれぞれ、角度θ、厚さTa及び標準偏差sで表すことができる。比Pa及び比Pabそれぞれが前述の範囲となるように、角度θ、厚さTa及び標準偏差sを設定することが好ましい。なお、厚さTaと厚さTbが互いに異なる場合は、数式(12)を用いることにより比Pbを算出することができる。

[0139]

供給される不純物元素の種類、被注入層の組成、膜密度及び厚さに応じて加速エネルギーを選択することにより、投影飛程m及び標準偏差sが決まり、標準偏差sは数式(15)で表すことができる。αは投影飛程mに対する標準偏差sの比であり、無次元量である。また、αは0より大きい実数である。供給される不純物元素の種類、被注入層の組成、膜密度及び厚さに応じて加速エネルギーを選択することにより、比αは決まる。比αを用いて、比Paは数式(16)で表すことができ、比P

bは数式(17)で表すことができる。

[0140]

[数9]

$$s = \alpha m \quad (15)$$

$$\begin{aligned} Pa &= \exp\left(-\frac{Ta^2\left(\frac{1}{\cos\theta}-1\right)^2}{2\alpha^2Ta^2}\right) \\ &= \exp\left(-\frac{\left(\frac{1}{\cos\theta}-1\right)^2}{2\alpha^2}\right) \quad (16) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pb &= \exp\left(-\frac{Ta^2\left(\frac{1}{\cos\theta}-1\right)^2}{2\alpha^2Ta^2}\right) \\ &= \exp\left(-\frac{\left(\frac{1}{\cos\theta}-1\right)^2}{2\alpha^2}\right) \quad (17) \end{aligned}$$

[0141]

数式(16)及び数式(17)に示すように、比Pa及び比Pbはそれぞれ、角度 $\theta$ 、及び投影飛程mに対する標準偏差sの比 $\alpha$ で表すことができる。比Pa及び比Pbそれぞれが前述の範囲となるように、比 $\alpha$ に応じて角度 $\theta$ を設定することが好ましい。数式(16)及び数式(17)に示すように、比 $\alpha$ が大きいほど、角度 $\theta$ を大きくすることにより、比Paを小さくすることができる。これにより、小さいカットオフ電流と、大きいオン電流が両立したトランジスタとすることができる。したがって、低い消費電力と高い性能が両立した半導体装置とすることができる。

[0142]

角度 $\theta$ と比Paとの関係を、図6に示す。図6において、横軸は角度 $\theta$ を示し、縦軸は比Paを示す。図6では、比 $\alpha$ を0.25、0.30、0.33、0.35、0.38、0.40、0.45、及び0.50で異ならせた場合の比Paを示している。

[0143]

図6に示すように、比 $\alpha$ が0.25以下の場合には角度 $\theta$ を59度以上、比 $\alpha$ が0.30以下の場合には角度 $\theta$ を62度以上、比 $\alpha$ が0.33以下の場合には角度 $\theta$ を64度以上、比 $\alpha$ が0.35以下の場合には角度 $\theta$ を65度以上、比 $\alpha$ が0.38以下の場合には角度 $\theta$ を66度以上、比 $\alpha$ が0.40以下の場合には角度 $\theta$ を67度以上、比 $\alpha$ が0.45以下の場合には角度 $\theta$ を69度以上、比 $\alpha$ が0.50以下の場合には角度 $\theta$ を70度以上にすることにより、比Paを $1 \times 10^{-3}$ 以下とすることができ、好ま

しい。また、比  $\alpha$  が 0.25 以下の場合には角度  $\theta$  を 62 度以上、比  $\alpha$  が 0.30 以下の場合には角度  $\theta$  を 65 度以上、比  $\alpha$  が 0.33 以下の場合には角度  $\theta$  を 66 度以上、比  $\alpha$  が 0.35 以下の場合には角度  $\theta$  を 67 度以上、比  $\alpha$  が 0.38 以下の場合には角度  $\theta$  を 68 度以上、比  $\alpha$  が 0.40 以下の場合には角度  $\theta$  を 69 度以上、比  $\alpha$  が 0.45 以下の場合には角度  $\theta$  を 71 度以上、比  $\alpha$  が 0.50 以下の場合には角度  $\theta$  を 72 度以上にすることにより、比  $P_a$  を  $1 \times 10^{-4}$  以下とすることができ、さらに好ましい。

[0144]

以上のように、比  $\alpha$  が大きいほど、角度  $\theta$  を大きくすることにより比  $P_a$  及び比  $P_b$  を小さくすることができる。

[0145]

厚さ  $T_a$  と厚さ  $T_b$  が互いに同じ、または概略同じ場合、比  $P_a$  と比  $P_b$  は互いに同じ、または概略同じとなるため、図 6 及び前述の記載における比  $P_a$  を比  $P_b$  に置き換えることができる。

[0146]

供給される不純物元素としてホウ素（具体的には、 $^{11}\text{B}^+$ イオン）、絶縁層 106 に膜密度が  $2.23 \text{ g/cm}^3$  である酸化シリコン ( $\text{SiO}_2$ ) 層を適用する構成を例に挙げて、より具体的に説明する。この構成の TRIM を用いたシミュレーションにおいて、加速エネルギーが  $20 \text{ keV}$  の場合、投影飛程  $m$  が約  $83.4 \text{ nm}$ 、標準偏差  $s$  が約  $32.0 \text{ nm}$ （比  $\alpha$  が約 0.38）となる。比  $\alpha$  を 0.38 としたとき、前述の数式 (16) 及び数式 (17) から、角度  $\theta$  が 65 度で比  $P_a$  及び比  $P_b$  はそれぞれ  $1.6 \times 10^{-3}$  となり、角度  $\theta$  が 66 度で比  $P_a$  及び比  $P_b$  はそれぞれ  $6.3 \times 10^{-4}$  となり、角度  $\theta$  が 68 度で比  $P_a$  及び比  $P_b$  はそれぞれ  $6.4 \times 10^{-5}$  となる。したがって、角度  $\theta$  を 66 度以上にすることにより、比  $P_a$  及び比  $P_b$  をそれぞれ  $1 \times 10^{-3}$  以下とすることができ、角度  $\theta$  を 68 度以上にすることにより、比  $P_a$  及び比  $P_b$  をそれぞれ  $1 \times 10^{-4}$  以下とすることができる。

[0147]

以上のように、角度  $\theta$  を大きくすることにより、比  $P_a$  及び比  $P_b$  を小さくすることができる。また、用いる不純物元素、及び絶縁層 106 の膜密度に応じて、角度  $\theta$  を大きくすることにより、比  $P_a$  及び比  $P_b$  を小さくすることができる。

[0148]

ここでは、絶縁層 106 の厚さ  $T_a$ 、厚さ  $T_b$  及び厚さ  $T_c$  が互いに同じ構成を例に挙げて説明したが、本発明の一態様はこれに限られない。厚さ  $T_a$ 、厚さ  $T_b$  及び厚さ  $T_c$  の一部及び全てが異なる構成とすることもできる。図 7 は、厚さ  $T_c$  が厚さ  $T_a$  及び厚さ  $T_b$  より薄い構成を示している。

[0149]

厚さ  $T_c$  は、厚さ  $T_a$  を用いて数式 (18) で表すことができる。 $\beta$  は厚さ  $T_a$  に対する厚さ  $T_c$  の比であり、無次元量である。比  $\beta$  は 0 より大きい実数である。厚さ  $T_a$  及び厚さ  $T_c$  が互いに同じとき、比  $\beta$  は 1 である。

[0150]

[数 10]

$$T_c = \beta T_a \quad (18)$$

[0151]

厚さ $T_c$ が厚さ $T_a$ と異なる、つまり数式(18)において比 $\beta$ が1ではない構成について、説明する。導電層112aの上面に沿って設けられる領域の絶縁層106の厚さ $T_a$ と比較して、絶縁層110の側面に沿って設けられる領域の絶縁層106の厚さ $T_c$ が薄くなる場合がある。このとき、比 $\beta$ は0より大きく1より小さい実数である。一方、厚さ $T_a$ と比較して厚さ $T_c$ が厚い場合、比 $\beta$ は1より大きい実数である。例えば、絶縁層106の形成にPECVD法またはスパッタリング法を用いる場合、厚さ $T_c$ は厚さ $T_a$ より薄く、つまり比 $\beta$ は1より小さくなる場合がある。絶縁層106の形成に原子層堆積(ALD: Atomic Layer Deposition)法を用いる場合、比 $\beta$ を1により近くすることができる。

[0152]

厚さ $T_c$ を数式(18)で表すとき、厚さ $T_d$ は数式(19)で表すことができる。また、前述の数式(11)で示す比 $P_a$ は、数式(20)で表すことができる。数式(12)で示す比 $P_b$ は、数式(21)で表すことができる。

[0153]

[数11]

$$T_d = \frac{\beta T_a}{\cos \theta} \quad (19)$$

$$P_a = \exp \left( - \frac{\left( \frac{\beta T_a}{\cos \theta} - m \right)^2 - (T_a - m)^2}{2s^2} \right) \quad (20)$$

$$P_b = \exp \left( - \frac{\left( \frac{\beta T_a}{\cos \theta} - m \right)^2 - (T_b - m)^2}{2s^2} \right) \quad (21)$$

[0154]

比 $P_a$ は、数式(20)に示すように、比 $\beta$ 、角度 $\theta$ 、厚さ $T_a$ 、投影飛程 $m$ 及び標準偏差 $s$ で表すことができる。比 $P_b$ は、数式(21)に示すように、比 $\beta$ 、厚さ $T_a$ 、厚さ $T_b$ 、投影飛程 $m$ 及び標準偏差 $s$ で表すことができる。比 $P_a$ 及び比 $P_b$ それぞれが前述の範囲となるように、比 $\beta$ に応じて角度 $\theta$ 、厚さ $T_a$ 、厚さ $T_b$ 、投影飛程 $m$ 及び標準偏差 $s$ を設定することが好ましい。数式(20)及び数式(21)に示すように、比 $\beta$ が小さいほど、角度 $\theta$ を大きくすることにより、比 $P_a$ を小さくすることができる。これにより、小さいカットオフ電流と、大きいオン電流が両立したトランジスタとすることができる。したがって、低い消費電力と高い性能が両立した半導体装置とすることができる。

[0155]

絶縁層106と半導体層108の界面における不純物元素の濃度 $N$ が最も高くなるとする。また、厚さ $T_a$ 及び厚さ $T_b$ が互いに同じとする。つまり、投影飛程 $m$ を“ $T_a$ ”とすると、比 $P_a$ は数式(22)で表すことができ、比 $P_b$ は数式(23)で表すことができる。

[0156]

[数12]

$$\begin{aligned}
 Pa &= \exp\left(-\frac{\left(\frac{\beta Ta}{\cos\theta}-Ta\right)^2-(Ta-Ta)^2}{2s^2}\right) \\
 &= \exp\left(-\frac{Ta^2\left(\frac{\beta}{\cos\theta}-1\right)^2}{2s^2}\right) \quad (22)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pb &= \exp\left(-\frac{\left(\frac{\beta Ta}{\cos\theta}-Ta\right)^2-(Ta-Ta)^2}{2s^2}\right) \\
 &= \exp\left(-\frac{Ta^2\left(\frac{\beta}{\cos\theta}-1\right)^2}{2s^2}\right) \quad (23)
 \end{aligned}$$

[0157]

数式(22)及び数式(23)に示すように、比Pa及び比Pbはそれぞれ、比β、厚さTa、角度θ及び標準偏差sで表すことができる。比Pa及び比Pa bそれぞれが前述の範囲となるように、比βに応じて角度θ、厚さTa及び標準偏差sを設定することが好ましい。

[0158]

数式(15)に示すように標準偏差sを投影飛程m及び比αを用いて表し、投影飛程mを“Ta”とすると、比Paは数式(24)で表すことができ、比Pbは数式(25)で表すことができる。

[0159]

[数13]

$$\begin{aligned}
 Pa &= \exp\left(-\frac{Ta^2\left(\frac{\beta}{\cos\theta}-1\right)^2}{2\alpha^2Ta^2}\right) \\
 &= \exp\left(-\frac{\left(\frac{\beta}{\cos\theta}-1\right)^2}{2\alpha^2}\right) \quad (24)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pb &= \exp\left(-\frac{Ta^2\left(\frac{\beta}{\cos\theta}-1\right)^2}{2\alpha^2Ta^2}\right) \\
 &= \exp\left(-\frac{\left(\frac{\beta}{\cos\theta}-1\right)^2}{2\alpha^2}\right) \quad (25)
 \end{aligned}$$

[0160]

数式(24)及び数式(25)に示すように、比Pa及び比Pbはそれぞれ、投影飛程mに対する標準偏差sの比 $\alpha$ 、厚さTaに対する厚さTcの比 $\beta$ 、及び角度 $\theta$ で表すことができる。比Pa及び比Pbそれぞれが前述の範囲となるように、比 $\alpha$ 及び比 $\beta$ に応じて角度 $\theta$ を設定することが好ましい。なお、数式(24)において $\beta$ を1とした場合の比Paが、前述の数式(16)である。数式(25)において $\beta$ を1とした場合の比Pbが、前述の数式(17)である。

[0161]

角度 $\theta$ と比Paとの関係を、図8A及び図8Bに示す。図8Aは比 $\beta$ が0.85における角度 $\theta$ と比Paとの関係を示し、図8Bは比 $\beta$ が0.75における角度 $\theta$ と比Paとの関係を示す。図8A及び図8Bにおいて、横軸は角度 $\theta$ を示し、縦軸は比Paを示す。図8A及び図8Bではそれぞれ、比 $\alpha$ を0.25、0.30、0.33、0.35、0.38、0.40、0.45、及び0.50で異ならせた場合の比Paを示している。なお、図6は、比 $\beta$ が1における角度 $\theta$ と比Paとの関係を示していることになる。

[0162]

図8Aに示すように、比 $\beta$ が0.85において、比 $\alpha$ が0.25以下の場合には角度 $\theta$ を64度以上、比 $\alpha$ が0.30以下の場合には角度 $\theta$ を67度以上、比 $\alpha$ が0.33以下の場合には角度 $\theta$ を68度以上、比 $\alpha$ が0.35以下の場合には角度 $\theta$ を69度以上、比 $\alpha$ が0.38以下の場合には角度 $\theta$ を70度以上、比 $\alpha$ が0.40以下の場合には角度 $\theta$ を71度以上、比 $\alpha$ が0.45以下の場合には角度 $\theta$ を72度以上、比 $\alpha$ が0.50以下の場合には角度 $\theta$ を73度以上にすることにより、比Paを $1 \times 10^{-3}$ 以下とすることができ、好ましい。また、比 $\alpha$ が0.25以下の場合には角度 $\theta$ を66度以上、比 $\alpha$ が0.30以下の場合には角度 $\theta$ を69度以上、比 $\alpha$ が0.33以下の場合には角度 $\theta$ を70度以上、比 $\alpha$ が0.35以下の場合には角度 $\theta$ を71度以上、比 $\alpha$ が0.38以下の場合には角度 $\theta$ を72度以上、

比  $\alpha$  が 0.40 以下の場合、角度  $\theta$  を 72 度以上、比  $\alpha$  が 0.45 以下の場合、角度  $\theta$  を 74 度以上、比  $\alpha$  が 0.50 以下の場合、角度  $\theta$  を 75 度以上にすることにより、比  $P_a$  を  $1 \times 10^{-4}$  以下とすることができ、さらに好ましい。

[0163]

図 8 B に示すように、比  $\beta$  が 0.75 において、比  $\alpha$  が 0.25 以下の場合、角度  $\theta$  を 68 度以上、比  $\alpha$  が 0.30 以下の場合、角度  $\theta$  を 70 度以上、比  $\alpha$  が 0.33 以下の場合、角度  $\theta$  を 71 度以上、比  $\alpha$  が 0.35 以下の場合、角度  $\theta$  を 71 度以上、比  $\alpha$  が 0.38 以下の場合、角度  $\theta$  を 72 度以上、比  $\alpha$  が 0.40 以下の場合、角度  $\theta$  を 73 度以上、比  $\alpha$  が 0.45 以下の場合、角度  $\theta$  を 74 度以上、比  $\alpha$  が 0.50 以下の場合、角度  $\theta$  を 75 度以上にすることにより、比  $P_a$  を  $1 \times 10^{-3}$  以下とすることができ、好ましい。また、比  $\alpha$  が 0.25 以下の場合、角度  $\theta$  を 69 度以上、比  $\alpha$  が 0.30 以下の場合、角度  $\theta$  を 71 度以上、比  $\alpha$  が 0.33 以下の場合、角度  $\theta$  を 72 度以上、比  $\alpha$  が 0.35 以下の場合、角度  $\theta$  を 73 度以上、比  $\alpha$  が 0.38 以下の場合、角度  $\theta$  を 74 度以上、比  $\alpha$  が 0.40 以下の場合、角度  $\theta$  を 74 度以上、比  $\alpha$  が 0.45 以下の場合、角度  $\theta$  を 76 度以上、比  $\alpha$  が 0.50 以下の場合、角度  $\theta$  を 77 度以上にすることにより、比  $P_a$  を  $1 \times 10^{-4}$  以下とすることができ、さらに好ましい。

[0164]

以上のように、比  $\alpha$  が大きいほど、角度  $\theta$  を大きくすることにより、比  $P_a$  を小さくすることができる。これにより、小さいカットオフ電流と、大きいオン電流が両立したトランジスタとすることができる。したがって、低い消費電力と高い性能が両立した半導体装置とすることができる。

[0165]

厚さ  $T_a$  と厚さ  $T_b$  が互いに同じ、または概略同じ場合、比  $P_a$  と比  $P_b$  は互いに同じ、または概略同じとなるため、図 8 A、図 8 B 及び前述の記載における比  $P_a$  を比  $P_b$  に置き換えることができる。

[0166]

前述したように、絶縁層 106 の厚さ  $T_d$  と厚さ  $T_a$  の差が大きいことが好ましい。絶縁層 106 の厚さ  $T_d$  と厚さ  $T_b$  の差が大きいことが好ましい。つまり、厚さ  $T_a$  に対する厚さ  $T_d$  の比は、大きいことが好ましい。厚さ  $T_b$  に対する厚さ  $T_d$  の比は、大きいことが好ましい。

[0167]

厚さ  $T_d$  を、厚さ  $T_a$  を用いて数式 (26) で表すことができる。  $\gamma$  は、厚さ  $T_a$  に対する厚さ  $T_d$  の比であり、無次元量である。また、比  $\gamma$  は、0 より大きい実数である。なお、比  $\gamma$  は、数式 (19) における “ $\beta / \cos \theta$ ” にあたる。比  $\gamma$  を用いて、比  $P_a$  は数式 (27) で表すことができる。また、絶縁層 106 の厚さ  $T_b$  と厚さ  $T_a$  が互いに同じとすると、比  $P_b$  は数式 (28) で表すことができる。

[0168]

[数 14]

$$Td = \gamma Ta \quad (26)$$

$$Pa = \exp\left(-\frac{(\gamma-1)^2}{2\alpha^2}\right) \quad (27)$$

$$Pb = \exp\left(-\frac{(\gamma-1)^2}{2\alpha^2}\right) \quad (28)$$

[0169]

数式(27)及び数式(28)に示すように、比Pa及び比Pbはそれぞれ、投影飛程mに対する標準偏差sの比 $\alpha$ 、及び絶縁層106の厚さTaに対する厚さTdの比 $\gamma$ で表すことができる。比Pa及び比Pbそれぞれが前述の範囲となるように、比 $\alpha$ に応じて比 $\beta$ を設定することが好ましい。数式(27)及び数式(28)に示すように、比 $\gamma$ を大きくするほど、比Pa及び比Pbを小さくすることができる。つまり、厚さTaに対する厚さTdの比を大きくするほど、比Pa及び比Pbを小さくすることができる。

[0170]

比 $\gamma$ と比Paとの関係を、図9に示す。図9において、横軸は角度 $\theta$ を示し、縦軸は比Paを示す。図9では、比 $\alpha$ を0.25、0.30、0.33、0.35、0.38、0.40、0.45、及び0.50で異ならせた場合の比Paを示している。

[0171]

図9に示すように、比 $\alpha$ が0.25以下の場合には比 $\gamma$ を2.0以上、比 $\alpha$ が0.30以下の場合には比 $\gamma$ を2.2以上、比 $\alpha$ が0.33以下の場合には比 $\gamma$ を2.3以上、比 $\alpha$ が0.35以下の場合には比 $\gamma$ を2.4以上、比 $\alpha$ が0.38以下の場合には比 $\gamma$ を2.5以上、比 $\alpha$ が0.40以下の場合には比 $\gamma$ を2.5以上、比 $\alpha$ が0.45以下の場合には比 $\gamma$ を2.7以上、比 $\alpha$ が0.50以下の場合には比 $\gamma$ を2.9以上にすることにより、比Paを $1 \times 10^{-3}$ 以下とすることができ、好ましい。また、比 $\alpha$ が0.25以下の場合には比 $\gamma$ を2.1以上、比 $\alpha$ が0.30以下の場合には比 $\gamma$ を2.3以上、比 $\alpha$ が0.33以下の場合には比 $\gamma$ を2.5以上、比 $\alpha$ が0.35以下の場合には比 $\gamma$ を2.6以上、比 $\alpha$ が0.38以下の場合には比 $\gamma$ を2.7以上、比 $\alpha$ が0.40以下の場合には比 $\gamma$ を2.8以上、比 $\alpha$ が0.45以下の場合には比 $\gamma$ を3.0以上、比 $\alpha$ が0.50以下の場合には比 $\gamma$ を3.2以上にすることにより、比Paを $1 \times 10^{-4}$ 以下とすることができ、さらに好ましい。

[0172]

以上のように、比 $\alpha$ が大きいほど、比 $\gamma$ を大きくすることにより、比Paを小さくすることができる。これにより、小さいカットオフ電流と、大きいオン電流が両立したトランジスタとすることができる。したがって、低い消費電力と高い性能が両立した半導体装置とすることができる。

[0173]

厚さTaと厚さTbが互いに同じ、または概略同じ場合、比Paと比Pbは互いに同じ、または概略同じとなるため、図9及び前述の記載における比Paを比Pbに置き換えることができる。

[0174]

供給される不純物元素としてホウ素(具体的には、 $^{11}\text{B}^+$ イオン)、絶縁層106に膜密度が $2.23 \text{ g/cm}^3$ である酸化シリコン( $\text{SiO}_2$ )層を適用する構成を例に挙げて、より具体的に説明す

る。この構成のTRIMを用いたシミュレーションにおいて、加速エネルギーが20keVの場合、投影飛程 $m$ が約83.4nm、標準偏差 $s$ が約32.0nm(比 $\alpha$ が約0.38)となる。比 $\alpha$ を0.38としたとき、前述の数式(27)及び数式(28)から、比 $\gamma$ が2.4で比 $P_a$ 及び比 $P_b$ はそれぞれ $1.1 \times 10^{-3}$ となり、比 $\gamma$ が2.5で比 $P_a$ 及び比 $P_b$ はそれぞれ $4.1 \times 10^{-4}$ となり、比 $\gamma$ が2.6で比 $P_a$ 及び比 $P_b$ はそれぞれ $1.4 \times 10^{-4}$ となり、比 $\gamma$ が2.7で比 $P_a$ 及び比 $P_b$ はそれぞれ $4.5 \times 10^{-5}$ となる。したがって、比 $\gamma$ を2.5以上にすることにより、比 $P_a$ 及び比 $P_b$ をそれぞれ $1 \times 10^{-3}$ 以下とすることができ、比 $\gamma$ を2.7度以上にすることにより、比 $P_a$ 及び比 $P_b$ をそれぞれ $1 \times 10^{-4}$ 以下とすることができる。

[0175]

以上のように、比 $\gamma$ を大きくすることにより、比 $P_a$ 及び比 $P_b$ を小さくすることができる。また、用いる不純物元素、及び絶縁層106の膜密度に応じて、比 $\gamma$ を大きくすることにより、比 $P_a$ 及び比 $P_b$ を小さくすることができる。

[0176]

前述したように、チャンネル形成領域に供給される不純物元素の量は少ないことが好ましい。より具体的には、半導体層108の絶縁層110bと接する領域に供給される不純物元素の量は少ないことが好ましい。したがって、断面視において、絶縁層110bの上面端部から、不純物元素が供給される方向(ここでは、基板102の上面に対して垂直な方向)に延びる直線上の絶縁層106の厚さ $T_e$ は、厚いことがより好ましい。厚さ $T_e$ は、少なくとも厚さ $T_d$ と同じ、または概略同じであることがより好ましい。

[0177]

図4及び図7では、半導体層108の導電層112aの上面に沿って設けられる領域の厚さ $H_a$ 、導電層112bの上面に沿って設けられる領域の厚さ $H_b$ 、及び絶縁層110の側面に沿って設けられる領域の厚さ $H_c$ を示している。厚さ $H_a$ 、厚さ $H_b$ 及び厚さ $H_c$ はそれぞれ、半導体層108の被形成面に垂直または概略垂直な方向における厚さである。より具体的には、厚さ $H_a$ は、導電層112aの上面と、半導体層108の上面との最短距離である。厚さ $H_b$ は、導電層112bの上面と、半導体層108の上面との最短距離である。厚さ $H_c$ は、絶縁層110の側面と半導体層108の絶縁層106側の側面との最短距離である。図4及び図7では、厚さ $H_a$ 、厚さ $H_b$ 及び厚さ $H_c$ が互いに同じである構成を示しているが、本発明の一態様はこれに限られない。厚さ $H_a$ 、厚さ $H_b$ 及び厚さ $H_c$ の一部または全てが異なる構成とすることもできる。

[0178]

数式(29)に示すように、絶縁層110bの上面に沿って設けられる絶縁層106の厚さ $T_b$ 、半導体層108の厚さ $H_b$ 、導電層112bの厚さ $T_{112b}$ 、及び絶縁層110cの厚さ $T_{110c}$ の和を $K$ とする。和 $K$ は、不純物元素が供給される方向(ここでは、基板102の上面に対して垂直な方向)における、導電層112bの上面に沿って設けられる絶縁層106の上面と、絶縁層110bの上面との距離である。和 $K$ が薄いと、絶縁層106の厚さ $T_e$ が厚さ $T_d$ より薄くなる場合がある(図4または図7の領域B参照)。したがって、和 $K$ は厚いことが好ましい。また、数式(30)に示すように、半導体層108の厚さ $H_d$ 、及び絶縁層106の厚さ $T_d$ の和を $L$ とする。数式(31)に示すように、和 $K$ は、和 $L$ 以上であることが好ましい。これにより、絶縁層106の厚さ $T_e$ を厚くすることができる。

[0179]

[数15]

$$K = Tb + Hb + T112b + T110c \quad (29)$$

$$L = Td + Hd \quad (30)$$

$$K \geq L \quad (31)$$

[0180]

数式(31)を満たすように、絶縁層106の厚さ**Tb**及び厚さ**Td**、半導体層108の厚さ**Hb**及び厚さ**Hd**、導電層112bの厚さ**T112b**、及び絶縁層110cの厚さ**T110c**を設定することが好ましい。例えば、数式(31)を満たすように、導電層112bの厚さ**T112b**、及び絶縁層110cの厚さ**T110c**の一方または双方を厚くすることが好ましい。

[0181]

ここで、絶縁層106の厚さ**Tb**と厚さ**Tc**が互いに同じとすると、厚さ**Td**は数式(32)で表すことができる。半導体層108の厚さ**Hb**と厚さ**Hc**が互いに同じとすると、厚さ**Hd**は数式(33)で表すことができる。また、和**L**は、数式(34)で表すことができる。

[0182]

[数16]

$$Td = \frac{Tb}{\cos \theta} \quad (32)$$

$$Hd = \frac{Hb}{\cos \theta} \quad (33)$$

$$L = \frac{Tb+Hb}{\cos \theta} \quad (34)$$

[0183]

数式(29)及び数式(34)を用いて、数式(31)を展開すると、数式(35)が得られる。

[0184]

[数17]

$$T112b + T110c \geq \left( \frac{1}{\cos \theta} - 1 \right) (Tb + Hb) \quad (35)$$

[0185]

数式(35)に示すように、角度**θ**が0度より大きく90度未満の場合、角度**θ**が大きくなるほど、導電層112bの厚さ**T112b**と絶縁層110cの厚さ**T110c**の和を大きくすることが好ましい。具体的には、角度**θ**が大きくなるほど、導電層112bの厚さ**T112b**及び絶縁層110cの厚さ**T110c**の一方または双方を厚くすることが好ましい。

[0186]

例えば、角度  $\theta$  が 60 度以下の場合、導電層 112b の厚さ  $T_{112b}$  と絶縁層 110c の厚さ  $T_{110c}$  の和は、少なくとも絶縁層 106 の厚さ  $T_b$  と半導体層 108 の厚さ  $H_b$  の和以上であることがより好ましい。角度  $\theta$  が 65 度以下の場合、導電層 112b の厚さ  $T_{112b}$  と絶縁層 110c の厚さ  $T_{110c}$  の和は、少なくとも絶縁層 106 の厚さ  $T_b$  と半導体層 108 の厚さ  $H_b$  の和の 1.4 倍以上であることがより好ましい。角度  $\theta$  が 70 度以下の場合、導電層 112b の厚さ  $T_{112b}$  と絶縁層 110c の厚さ  $T_{110c}$  の和は、少なくとも絶縁層 106 の厚さ  $T_b$  と半導体層 108 の厚さ  $H_b$  の和の 2.0 倍以上であることがより好ましい。角度  $\theta$  が 75 度以下の場合、導電層 112b の厚さ  $T_{112b}$  と絶縁層 110c の厚さ  $T_{110c}$  の和は、少なくとも絶縁層 106 の厚さ  $T_b$  と半導体層 108 の厚さ  $H_b$  の和の 2.9 倍以上であることがより好ましい。角度  $\theta$  が 80 度以下の場合、導電層 112b の厚さ  $T_{112b}$  と絶縁層 110c の厚さ  $T_{110c}$  の和は、少なくとも絶縁層 106 の厚さ  $T_b$  と半導体層 108 の厚さ  $H_b$  の和の 4.8 倍以上であることがより好ましい。

[0187]

なお、ここでは絶縁層 106 の厚さ  $T_b$  と厚さ  $T_c$  が互いに同じであり、半導体層 108 の厚さ  $H_b$  と厚さ  $H_c$  が互いに同じである構成を例に挙げて説明したが、本発明の一態様はこれに限られない。厚さ  $T_b$  と厚さ  $T_c$  が互いに異なる構成とすることもできる。厚さ  $H_b$  と厚さ  $H_c$  が互いに異なる構成とすることもできる。このような場合においても、数式 (31) を満たすように各層の厚さを設定することが好ましい。

[0188]

絶縁層 106 の厚さ  $T_c$  が厚さ  $T_b$  の 0.85 倍であり、半導体層 108 の厚さ  $H_c$  が厚さ  $H_b$  の 0.85 倍である場合を例に挙げて、説明する。この構成において、和  $L$  は “ $0.85 \times (T_b + H_b) / \cos \theta$ ” と表すことができ、これを数式 (31) に適用することができる。例えば、角度  $\theta$  が 60 度以下の場合、導電層 112b の厚さ  $T_{112b}$  と絶縁層 110c の厚さ  $T_{110c}$  の和は、少なくとも絶縁層 106 の厚さ  $T_b$  と半導体層 108 の厚さ  $H_b$  の和の 0.7 倍以上であることがより好ましい。角度  $\theta$  が 65 度以下の場合、導電層 112b の厚さ  $T_{112b}$  と絶縁層 110c の厚さ  $T_{110c}$  の和は、少なくとも絶縁層 106 の厚さ  $T_b$  と半導体層 108 の厚さ  $H_b$  の和の 1.1 倍以上であることがより好ましい。角度  $\theta$  が 70 度以下の場合、導電層 112b の厚さ  $T_{112b}$  と絶縁層 110c の厚さ  $T_{110c}$  の和は、少なくとも絶縁層 106 の厚さ  $T_b$  と半導体層 108 の厚さ  $H_b$  の和の 1.5 倍以上であることがより好ましい。角度  $\theta$  が 75 度以下の場合、導電層 112b の厚さ  $T_{112b}$  と絶縁層 110c の厚さ  $T_{110c}$  の和は、少なくとも絶縁層 106 の厚さ  $T_b$  と半導体層 108 の厚さ  $H_b$  の和の 2.3 倍以上であることがより好ましい。角度  $\theta$  が 80 度以下の場合、導電層 112b の厚さ  $T_{112b}$  と絶縁層 110c の厚さ  $T_{110c}$  の和は、少なくとも絶縁層 106 の厚さ  $T_b$  と半導体層 108 の厚さ  $H_b$  の和の 3.9 倍以上であることがより好ましい。

[0189]

前述したように、不純物元素の濃度の比  $P_a$  及び比  $P_b$  はそれぞれ小さいことが好ましい。比  $P_a$  及び比  $P_b$  がそれぞれが前述の範囲となるように、角度  $\theta$  を決めることができる。さらに、当該角度  $\theta$  において、数式 (31) を満たすように、導電層 112b の厚さ  $T_{112b}$  と絶縁層 110c の厚さ  $T_{110c}$  の和を決めることがさらに好ましい。これにより、チャンネル形成領域全体の不純物元素の濃度を低くすることができる。

[0190]

領域108Da及び領域108Dbはそれぞれ、不純物元素として第1の元素に加えて、第2の元素を有する構成とすることができる。なお、第2の元素は、第1の元素と異なる。第2の元素として、前述の第1の元素として用いることができる元素のうち一種または複数種を用いることができる。第2の元素は、第1の元素より質量数が大きいことが好ましい。また、第1の元素は酸素と結合しやすいことが好ましい。例えば、第1の元素として、ホウ素またはリンを用い、第2の元素として、アルゴン、クリプトンまたはキセノンを用いることができる。

[0191]

第2の元素を半導体層108に供給した後に、第1の元素を半導体層108に供給することができる。供給される元素の質量数が大きいと、半導体層108が有する金属酸化物において切断される金属と酸素の結合が多くなる。また、金属と酸素の結合の切断により、領域108Daとなる領域に及び領域108Dbとなる領域に酸素欠損( $V_O$ )が生じる。質量数の大きい第2の元素の供給により多くの金属と酸素の結合を切断した後に、第1の元素を供給することにより、第1の元素は効率的に酸素と結合することができる。したがって、領域108Da及び領域108Dbの電気抵抗を効率的に低くすることができる。

[0192]

チャネル形成領域に供給される第2の元素の量が多くなると、チャネル形成領域に酸素欠損( $V_O$ )が生じることにより $V_OH$ が増加し、キャリア濃度が高くなってしまふ恐れがある。チャネル形成領域における第2の元素の濃度は、領域108Daにおける第2の元素の濃度より低いことが好ましい。同様に、チャネル形成領域における第2の元素の濃度は、領域108Dbにおける第2の元素の濃度より低いことが好ましい。

[0193]

第2の元素は、絶縁層106を介して、半導体層108に供給されることが好ましい。絶縁層106を介して第2の元素を半導体層108に供給した後に、絶縁層106を介して第1の元素を半導体層108に供給することが好ましい。第2の元素を、絶縁層106を介して半導体層108に供給する場合、絶縁層106も、第2の不純物元素を有することがある。

[0194]

第2の元素は、基板102の上面に対して垂直または概略垂直な方向から供給されることが好ましい。第2の元素の供給は、第1の元素の供給に用いることができる方法を用いることができる。第2の元素の供給は、例えば、プラズマイオンドーピング法またはイオン注入法を好適に用いることができる。第1の元素及び第2の元素の供給にプラズマイオンドーピング法またはイオン注入法を用いる場合、絶縁層110の角度 $\theta$ 、または絶縁層106の厚さ $T_d$ を前述の範囲とすることにより、チャネル形成領域に供給される第2の元素の量を少なくすることができ、好ましい。なお、第1の元素と比較して第2の元素は質量数が大きいため、第1の元素を供給する際の加速エネルギーより、第2の元素を供給する際の加速エネルギーが高いとより好ましい。これにより、領域108Da及び領域108Dbに供給される第2の元素の量が多くなり、領域108Da及び領域108Dbの電気抵抗を効率的に低くすることができる。

[0195]

または、第1の元素と第2の元素を同じ工程で供給することができる。例えば、第1の元素と、第2の元素とを含む原料ガスを用いて、第1の元素及び第2の元素を半導体層108に供給すること

ができる。供給には、プラズマイオンドーピング法を好適に用いることができる。このとき、加速エネルギーは、第1の元素の濃度の比P a及び比P bが前述の範囲となるように設定することが好ましい。また、原料ガスとして、第1の元素を含むガスと、第2の元素を含むガスとの混合ガスを用いることができる。例えば、第1の元素をホウ素、第2の元素をアルゴンとする場合、BF<sub>3</sub>ガスとArガスの混合ガスを用いることができる。なお、混合ガスに限定されず、第1の元素と第2の元素とを含むガスを原料ガスとして用いることもできる。

[0196]

なお、図1B等では、半導体層108、絶縁層106及び導電層104が開口部141及び開口部143を覆う例を示しているが、本発明の一態様はこれに限られない。絶縁層110及び導電層112bと、導電層112aとによって段差が形成され、当該段差に沿って半導体層108、絶縁層106及び導電層104が設けられる構成とすることができる。

[0197]

[半導体層108]

半導体層108に用いることができる金属酸化物について、具体的に説明する。金属酸化物として、例えば、インジウム酸化物、ガリウム酸化物、及び亜鉛酸化物が挙げられる。金属酸化物は、少なくともインジウムまたは亜鉛を含むことが好ましい。また、金属酸化物は、インジウムと、元素Mと、亜鉛と、の中から選ばれる一または二以上を有することが好ましい。なお、元素Mは、酸素との結合エネルギーが高い金属元素または半金属元素であり、例えば、酸素との結合エネルギーがインジウムよりも高い金属元素または半金属元素である。元素Mとして、具体的には、アルミニウム、ガリウム、スズ、イットリウム、チタン、バナジウム、クロム、マンガン、鉄、コバルト、ニッケル、ジルコニウム、モリブデン、ハフニウム、タンタル、タングステン、ランタン、セリウム、ネオジム、マグネシウム、カルシウム、ストロンチウム、バリウム、ホウ素、シリコン、ゲルマニウム、及びアンチモンが挙げられる。金属酸化物が有する元素Mは、上記元素のいずれか一種または複数種であることが好ましく、ガリウム、アルミニウム、スズ、及びイットリウムから選ばれた一種または複数種であることがより好ましく、ガリウム、アルミニウム、及びスズの一種または複数種がさらに好ましい。これらの元素は、酸素との結合エネルギーが高い上、インジウムまたは亜鉛とイオン半径が同程度であるため、より好ましい。また、スズは4価であることから、キャリア移動度を高めることができ、より好ましい。なお、本明細書等において、金属元素と半金属元素をまとめて「金属元素」と呼ぶことがあり、本明細書等に記載の「金属元素」には半金属元素が含まれることがある。

[0198]

半導体層108は、例えば、インジウム亜鉛酸化物(In-Zn酸化物、IZO(登録商標)とも記す)、インジウムスズ酸化物(In-Sn酸化物、ITOとも記す)、インジウムチタン酸化物(In-Ti酸化物)、インジウムガリウム酸化物(In-Ga酸化物)、インジウムタングステン酸化物(In-W酸化物、IWOとも記す)、インジウムガリウムアルミニウム酸化物(In-Ga-Al酸化物)、インジウムガリウムスズ酸化物(In-Ga-Sn酸化物、IGTOとも記す)、ガリウム亜鉛酸化物(Ga-Zn酸化物、GZOとも記す)、アルミニウム亜鉛酸化物(Al-Zn酸化物、AZOとも記す)、インジウムアルミニウム亜鉛酸化物(In-Al-Zn酸化物、IAZOとも記す)、インジウムスズ亜鉛酸化物(In-Sn-Zn酸化物、ITZO(登録商標)とも記す)、インジウムチタン亜鉛酸化物(In-Ti-Zn酸化物)、インジウムガリウム亜鉛酸化物(In-Ga-Zn酸化物、IGZOとも記す)、インジウムガリウムスズ亜鉛酸化物(In-Ga-Sn-Zn

酸化物、 $I n - G a - A l - Z n$ 酸化物、 $I G A Z O$ 、 $I G Z A O$ 、または $I A G Z O$ とも記す)などを用いることができる。または、シリコンを含むインジウムスズ酸化物( $I T S O$ とも記す)、ガリウムスズ酸化物( $G a - S n$ 酸化物)、アルミニウムスズ酸化物( $A l - S n$ 酸化物)などを用いることができる。

[0199]

なお、金属酸化物は、インジウムに代えて、または、インジウムに加えて、元素周期表における周期番号が大きい金属元素の一種または複数種を有する構成とすることができる。金属元素の軌道の重なりが大きいほど、金属酸化物におけるキャリア伝導は大きくなる傾向がある。よって、周期番号が大きい金属元素を有することで、トランジスタの電界効果移動度を高めることができる場合がある。周期番号が大きい金属元素として、第5周期に属する金属元素、及び第6周期に属する金属元素などが挙げられる。当該金属元素として、具体的には、イットリウム、ジルコニウム、銀、カドミウム、スズ、アンチモン、バリウム、鉛、ビスマス、ランタン、セリウム、プラセオジウム、ネオジウム、プロメチウム、サマリウム、及びユウロピウムなどが挙げられる。なお、ランタン、セリウム、プラセオジウム、ネオジウム、プロメチウム、サマリウム、及びユウロピウムは、軽希土類元素と呼ばれる。

[0200]

金属酸化物に含まれる全ての金属元素の原子数の和に対するインジウムの原子数の割合を高くすることにより、トランジスタの電界効果移動度を高めることができる。また、オン電流が大きいトランジスタを実現できる。

[0201]

本明細書等において、含有される全ての金属元素の原子数の和に対するインジウムの原子数の割合を、インジウムの含有率と記す場合がある。他の金属元素においても同様である。元素Mとして複数の元素を有する場合は、含有される全ての金属元素の原子数の和に対する元素Mの原子数の割合の和を、元素Mの含有率とすることができる。

[0202]

金属酸化物における亜鉛の含有率を高くすることにより、結晶性の高い金属酸化物となり、金属酸化物中の不純物の拡散を抑制できる。したがって、トランジスタの電気特性の変動が抑制され、信頼性を高めることができる。

[0203]

金属酸化物における元素Mの含有率を高くすることにより、バンドギャップの大きい金属酸化物とすることができる。また、金属酸化物に酸素欠損( $V_o$ )が形成されることが抑制されることにより、酸素欠損( $V_o$ )に起因するキャリア生成が抑制され、トランジスタのしきい値電圧がシフトすることを抑制できる。これにより、カットオフ電流を小さくすることができ、ノーマリオフのトランジスタとすることができる。また、オフ電流が小さいトランジスタとすることができる。また、トランジスタの電気特性の変動が抑制され、信頼性を高めることができる。

[0204]

半導体層108に適用する金属酸化物の組成により、トランジスタの電気特性、及び信頼性が異なる。したがって、トランジスタに求められる電気特性、及び信頼性に応じて金属酸化物の組成を異ならせることにより、優れた電気特性と高い信頼性を両立した半導体装置とすることができる。

[0205]

金属酸化物が $I n - M - Z n$ 酸化物の場合、当該 $I n - M - Z n$ 酸化物における $I n$ の原子数比

は元素Mの原子数比以上であることが好ましい。このような $I_n-M-Z_n$ 酸化物の金属元素の原子数比として、例えば、 $I_n:M:Z_n=1:1:1$ 、 $I_n:M:Z_n=1:1:1.2$ 、 $I_n:M:Z_n=2:1:3$ 、 $I_n:M:Z_n=3:1:1$ 、 $I_n:M:Z_n=3:1:2$ 、 $I_n:M:Z_n=4:2:3$ 、 $I_n:M:Z_n=4:2:4.1$ 、 $I_n:M:Z_n=5:1:3$ 、 $I_n:M:Z_n=5:1:6$ 、 $I_n:M:Z_n=5:1:7$ 、 $I_n:M:Z_n=5:1:8$ 、 $I_n:M:Z_n=5:1:9$ 、 $I_n:M:Z_n=6:1:6$ 、 $I_n:M:Z_n=10:1:1$ 、 $I_n:M:Z_n=10:1:3$ 、 $I_n:M:Z_n=10:1:4$ 、 $I_n:M:Z_n=10:1:6$ 、 $I_n:M:Z_n=10:1:7$ 、 $I_n:M:Z_n=10:1:8$ 、 $I_n:M:Z_n=5:2:5$ 、 $I_n:M:Z_n=10:1:10$ 、 $I_n:M:Z_n=20:1:10$ 、 $I_n:M:Z_n=40:1:10$ 、及び、これらの近傍の組成が挙げられる。なお、近傍の組成とは、所望の原子数比の $\pm 30\%$ の範囲を含む。金属酸化物中のインジウムの原子数比を大きくすることで、トランジスタのオン電流、または電界効果移動度を高めることができる。

[0206]

$I_n-M-Z_n$ 酸化物における $I_n$ の原子数比は元素Mの原子数比未満とすることもできる。このような $I_n-M-Z_n$ 酸化物の金属元素の原子数比として、例えば、 $I_n:M:Z_n=1:3:2$ 、 $I_n:M:Z_n=1:3:3$ 、 $I_n:M:Z_n=1:3:4$ 、 $I_n:M:Z_n=1:3:6$ 、及びこれらの近傍の組成が挙げられる。金属酸化物中のMの原子数の割合を大きくすることで、酸素欠損( $V_o$ )の生成を抑制することができる。

[0207]

なお、元素Mとして複数の元素を有する場合は、これらの原子数比の和を元素Mの原子数比とすることができる。

[0208]

半導体層108にインジウムの含有率が高い材料を用いることで、トランジスタのオン電流、または電界効果移動度を高めることができる。さらに、元素Mを有することで、酸素欠損( $V_o$ )の生成を抑制することができる。元素Mの含有率(含有される全ての金属元素の原子数の和に対する元素Mの原子数の割合)は、 $0.1\%$ 以上 $25\%$ 以下が好ましく、さらには $0.1\%$ 以上 $20\%$ 以下が好ましく、さらには $0.1\%$ 以上 $10\%$ 以下が好ましく、さらには $0.1\%$ 以上 $8\%$ 以下が好ましく、さらには $0.1\%$ 以上 $6\%$ 以下が好ましく、さらには $0.1\%$ 以上 $4\%$ 以下が好ましい。これにより、電気特性が良好なトランジスタとすることができる。例えば、 $I_n:M:Z_n=40:1:10$ 、及びその近傍の金属酸化物を用いることが好ましい。元素Mは、上記元素のいずれか一種または複数種であることが好ましく、アルミニウム、ガリウム、スズ、及びイットリウムから選ばれた一種または複数種であることがより好ましい。具体的には、 $I_n:Sn:Z_n=40:1:10$ 、及びその近傍の金属酸化物を好適に用いることができる。または、 $I_n:Al:Z_n=40:1:10$ 、及びその近傍の金属酸化物を好適に用いることができる。

[0209]

ここで、半導体層108に多結晶構造の金属酸化物を用いると、結晶粒界が再結合中心となり、キャリアが捕獲されることにより、トランジスタのオン電流が小さくなってしまう場合がある。また、半導体層108に多結晶構造の金属酸化物を用いると、半導体層108表面の凹凸が大きくなる場合がある。これにより、半導体層108上に形成される層(例えば、絶縁層106)の被形成面の段差が大きくなり、該層に段切れまたは鬆といった不具合が発生する場合がある。半導体層108に多

結晶構造になりやすい組成の金属酸化物を用いる場合、結晶化を阻害する元素を含むことが好ましい。これにより、半導体層108が多結晶構造となることが抑制され、オン電流の大きいトランジスタとすることができる。また、半導体層108上に形成される層（例えば、絶縁層106）の被覆性を高めることができ、当該層に段切れまたは鬆といった不具合が発生することを抑制できる。

[0210]

例えば、インジウムスズ酸化物（ITO）と比較して、シリコンを含むインジウムスズ酸化物（ITSO）は多結晶構造になりづらいため、半導体層108に好適に用いることができる。ITSOを用いる場合、シリコンの含有率（含有される全ての金属元素の原子数の和に対するシリコンの原子数の割合）は、1 atomic %以上20 atomic %以下が好ましく、さらには3 atomic %以上20 atomic %以下が好ましく、さらには3 atomic %以上15 atomic %以下が好ましく、さらには5 atomic %以上15 atomic %以下が好ましい。具体的には、金属元素の原子数比として、 $In : Sn : Si = 45 : 5 : 4$ 、 $In : Sn : Si = 95 : 5 : 8$ 、及びこれらの近傍の金属酸化物を好適に用いることができる。半導体層108にシリコンを含むインジウムスズ酸化物（ITSO）を用いる場合、結晶性を有することが好ましい。なお、半導体層108は、非晶質の領域を有してもよく、非晶質であってもよい。

[0211]

半導体層108に元素Mを含まない金属酸化物を適用することができる。当該金属酸化物がIn-Zn酸化物の場合、金属元素の原子数比として、例えば、 $In : Zn = 1 : 1$ 、 $In : Zn = 2 : 1$ 、 $In : Zn = 1 : 2$ 、 $In : Zn = 3 : 1$ 、 $In : Zn = 3 : 2$ 、 $In : Zn = 2 : 3$ 、 $In : Zn = 4 : 1$ 、 $In : Zn = 4 : 3$ 、 $In : Zn = 5 : 1$ 、 $In : Zn = 5 : 2$ 、 $In : Zn = 5 : 3$ 、 $In : Zn = 5 : 4$ 、 $In : Zn = 5 : 6$ 、 $In : Zn = 5 : 7$ 、 $In : Zn = 5 : 8$ 、 $In : Zn = 5 : 9$ 、 $In : Zn = 7 : 1$ 、 $In : Zn = 10 : 1$ 、 $In : Zn = 10 : 3$ 、 $In : Zn = 10 : 7$ 、及びこれらの近傍の組成が挙げられる。さらに、Inの原子数比はZnの原子数比以上であるとより好ましい。金属酸化物中のインジウムの原子数比を大きくすることで、トランジスタのオン電流または電界効果移動度を高めることができる。

[0212]

半導体層108の組成の分析には、例えば、エネルギー分散型X線分光法（EDX：Energy Dispersive X-ray Spectrometry）、X線光電子分光法（XPS）、誘導結合プラズマ質量分析法（ICP-MS：Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry）、または誘導結合高周波プラズマ発光分光法（ICP-AES：Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry）を用いることができる。または、これらの手法を複数組み合わせることもできる。分析によって得られたスペクトルのピーク分離を行い、元素の同定及び定量を行うことが好ましい。なお、含有率が低い元素は、分析精度の影響により、実際の含有率と分析によって得られた含有率が異なる場合がある。例えば、元素Mの含有率が低い場合、分析によって得られた元素Mの含有率が、実際の含有率より低くなる、定量が困難となる、または検出下限未満となる場合がある。

[0213]

金属酸化物の形成には、スパッタリング法、またはALD法を好適に用いることができる。なお、金属酸化物をスパッタリング法で形成する場合、形成後の金属酸化物の組成はスパッタリングター

ゲットの組成と異なる場合がある。特に、亜鉛は、形成後の金属酸化物における含有率が、スパッタリングターゲットと比較して50%程度にまで減少する場合がある。

[0214]

半導体層108は、結晶性を有する金属酸化物を用いることが好ましい。結晶性を有する金属酸化物の構造として、例えば、CAAC (c-axis aligned crystal) 構造、多結晶構造、及び、微結晶 (nc: nano-crystal) 構造が挙げられる。結晶性を有する金属酸化物を用いることにより、半導体層108中の欠陥準位密度を低減でき、信頼性の高い半導体装置を実現できる。

[0215]

半導体層108は、CAAC-OSまたはnc-OSを用いることが好ましい。

[0216]

CAAC-OSは、複数の層状結晶を有する。当該結晶のc軸は、被形成面の法線方向に配向している。半導体層108は、被形成面に対して平行または概略平行な層状結晶を有することが好ましい。例えば、半導体層108は、導電層112bの上面と接する領域においては当該上面に対して平行または概略平行な層状結晶を有し、導電層112bの側面と接する領域においては当該側面に対して平行または概略平行な層状結晶を有することが好ましい。特に、半導体層108は、開口部141において、被形成面である絶縁層110の側面に対して平行または概略平行な層状結晶を有することが好ましい。このような構成とすることにより、トランジスタ100のチャネル長方向に対して、半導体層108の層状結晶が平行または概略平行に形成されるため、オン電流の大きいトランジスタとすることができる。

[0217]

チャネル形成領域に結晶性が高い金属酸化物を用いることで、チャネル形成領域中の欠陥準位密度を低減できる。一方、結晶性の低い金属酸化物を用いることで、大きな電流を流すことができるトランジスタを実現することができる。

[0218]

金属酸化物の形成時の基板温度が高いほど、結晶性の高い金属酸化物を形成することができる。形成時の基板温度は、例えば、形成時に基板が置かれるステージの温度により調整できる。また、形成に用いる成膜ガスの酸素流量比、または処理室内の酸素分圧が高いほど、結晶性の高い金属酸化物を形成することができる。

[0219]

半導体層108の結晶性は、例えば、X線回折 (XRD: X-Ray Diffraction)、透過型電子顕微鏡 (TEM: Transmission Electron Microscope)、または電子線回折 (ED: Electron Diffraction) により解析できる。または、これらの手法を複数組み合わせることで分析を行うこともできる。

[0220]

半導体層108に金属酸化物を用いる場合、チャネル形成領域の $V_{OH}$ をできる限り低減し、高純度真性または実質的に高純度真性にするのが好ましい。このように、 $V_{OH}$ が十分低減された金属酸化物を得るには、金属酸化物中の水、水素などの不純物を除去すること (脱水、脱水素化処理と記載する場合がある。) と、金属酸化物に酸素を供給して酸素欠損 ( $V_O$ ) を修復することが重要である。 $V_{OH}$ などの不純物が十分に低減された金属酸化物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。なお、金属酸化物に酸素を供給して酸素欠損（V<sub>o</sub>）を修復することを、加酸素化処理と記す場合がある。

[0221]

半導体層108に金属酸化物を用いる場合、チャンネル形成領域のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが好ましく、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満であることがより好ましく、 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 未満であることがさらに好ましく、 $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ 未満であることがさらに好ましく、 $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 未満であることがさらに好ましい。なお、チャンネル形成領域のキャリア濃度の下限値について限定は無いが、例えば、 $1 \times 10^{-9} \text{ cm}^{-3}$ とすることができる。

[0222]

半導体層108の導電層112aと接する領域は、トランジスタ100のソース領域及びドレイン領域の一方として機能し、導電層112bと接する領域は他方として機能する。ソース領域及びドレイン領域は、チャンネル形成領域と比較して電気抵抗が低い領域である。ソース領域及びドレイン領域は、チャンネル形成領域と比較してキャリア濃度が高い領域、酸素欠陥密度が高い領域ともいえる。

[0223]

OSトランジスタは、放射線照射による電気特性の変動が小さい、つまり放射線に対する耐性が高いため、放射線が入射しうる環境においても好適に用いることができる。OSトランジスタは、放射線に対する信頼性が高いともいえる。例えば、X線のフラットパネルディテクタの画素回路に、OSトランジスタを好適に用いることができる。また、OSトランジスタは、宇宙空間で使用する半導体装置に好適に用いることができる。放射線として、電磁放射線（例えば、X線、及びガンマ線）、及び粒子放射線（例えば、アルファ線、ベータ線、陽子線、及び中性子線）が挙げられる。

[0224]

半導体層108は、半導体として機能する層状物質を有してもよい。層状物質とは、層状の結晶構造を有する材料群の総称である。層状の結晶構造は、共有結合またはイオン結合によって形成される層が、ファンデルワールス結合のような、共有結合またはイオン結合よりも弱い結合を介して積層している構造である。層状物質は、単位層内における電気伝導性が高く、つまり、2次元電気伝導性が高い。半導体として機能し、かつ、2次元電気伝導性の高い材料をチャンネル形成領域に用いることで、オン電流が大きいトランジスタを提供することができる。

[0225]

上記層状物質として、例えば、グラフェン、シリセン、カルコゲン化物などが挙げられる。カルコゲン化物は、カルコゲン（第16族に属する元素）を含む化合物である。また、カルコゲン化物として、遷移金属カルコゲナイド、13族カルコゲナイドなどが挙げられる。トランジスタのチャンネル形成領域として適用可能な遷移金属カルコゲナイドとして、具体的には、硫化モリブデン（代表的には $\text{MoS}_2$ ）、セレン化モリブデン（代表的には $\text{MoSe}_2$ ）、モリブデンテルル（代表的には $\text{MoTe}_2$ ）、硫化タングステン（代表的には $\text{WS}_2$ ）、セレン化タングステン（代表的には $\text{WSe}_2$ ）、タングステンテルル（代表的には $\text{WTe}_2$ ）、硫化ハフニウム（代表的には $\text{HfS}_2$ ）、セレン化ハフニウム（代表的には $\text{HfSe}_2$ ）、硫化ジルコニウム（代表的には $\text{ZrS}_2$ ）、セレン化ジルコニウム（代表的には $\text{ZrSe}_2$ ）などが挙げられる。

[0226]

半導体層108は、2以上の金属酸化物層を有する積層構造とすることができる。半導体層108が有する2以上の金属酸化物層の組成が互いに同じ、または概略同じ構成とすることができる。組成

が同じ金属酸化物層の積層構造とすることで、例えば、同じスパッタリングターゲットを用いて形成できるため、製造コストを削減できる。半導体層108が有する2以上の金属酸化物層の組成が同じ、または概略同じである場合、これらの金属酸化物層の境界(界面)を明確に確認できない場合がある。

[0227]

[絶縁層110]

前述したように、絶縁層110は積層構造を有することが好ましい。絶縁層110bは、チャネル形成領域に酸素を供給する機能を有する。絶縁層110a及び絶縁層110cは、バリア膜として機能する。

[0228]

絶縁層110aの厚さ $T_{110a}$ は、3nm以上500nm以下が好ましく、さらには5nm以上400nm以下が好ましく、さらには10nm以上300nm以下が好ましく、さらには20nm以上300nm以下が好ましく、さらには50nm以上300nm以下が好ましく、さらには100nm以上300nm以下が好ましく、さらには100nm以上250nm以下が好ましく、さらには150nm以上250nm以下が好ましい。厚さ $T_{110a}$ は、図3Bに示すように、断面視における絶縁層110aの被形成面(ここでは、導電層112aの上面)と絶縁層110aの上面の最短距離とすることができる。

[0229]

絶縁層110aの厚さ $T_{110a}$ が薄いと、絶縁層110bに含まれる酸素が絶縁層110aを介して導電層112a側に拡散し、チャネル形成領域に供給される酸素の量が減ってしまう場合がある。一方、厚さ $T_{110a}$ が厚いと、絶縁層110aから放出される不純物の量が多くなり、チャネル形成領域に拡散する不純物の量が多くなってしまう場合がある。厚さ $T_{110a}$ を前述の範囲とすることにより、チャネル形成領域に供給される酸素の量を増やすことができ、チャネル形成領域の酸素欠損( $V_o$ )及び $V_oH$ を低減できる。また、絶縁層110bに含まれる酸素によって導電層112aが酸化され、導電層112aの電気抵抗が高くなることを抑制できる。なお、厚さ $T_{110a}$ は前述の範囲に限定されない。

[0230]

絶縁層110aの厚さ $T_{110a}$ は、絶縁層110cの厚さ $T_{110c}$ より厚くすることができる。半導体層108の絶縁層110aと接する領域がソース領域またはドレイン領域として機能する場合、厚さ $T_{110a}$ を厚くすることにより、ソース領域またはドレイン領域からゲート電極までの距離をより均一にすることができる。これにより、チャネル形成領域にかかるゲート電極の電界をより均一にすることができる。厚さ $T_{110c}$ は、図3Bに示すように、断面視における絶縁層110cの被形成面(ここでは、絶縁層110bの上面)と絶縁層110cの上面の最短距離とすることができる。

[0231]

絶縁層110cの厚さ $T_{110c}$ は、3nm以上200nm以下が好ましく、さらには3nm以上100nm以下が好ましく、さらには3nm以上50nm以下が好ましく、さらには3nm以上30nm以下が好ましく、さらには3nm以上20nm以下が好ましく、さらには3nm以上10nm以下が好ましく、さらには5nm以上10nm以下が好ましい。

[0232]

厚さ $T_{110c}$ は、少なくとも酸素に対するバリア膜として機能する値であることが好ましい。厚

さT110cは、厚さT110aより薄くすることができる。絶縁層110cの厚さT110cが厚いと、絶縁層110cから放出される不純物の量が多くなり、チャンネル形成領域に拡散する不純物の量が多くなってしまう場合がある。一方、厚さT110cが薄いと、絶縁層110bに含まれる酸素が絶縁層110cを介して、導電層112b側に拡散し、チャンネル形成領域に供給される酸素の量が減ってしまう場合がある。厚さT110cを前述の範囲とすることにより、チャンネル形成領域に供給される酸素の量を増やすことができ、チャンネル形成領域の酸素欠損 ( $V_o$ ) 及び $V_oH$ を低減できる。また、絶縁層110bに含まれる酸素によって導電層112bが酸化され、導電層112bの電気抵抗が高くなることを抑制できる。なお、厚さT110cは前述の範囲に限定されない。

#### [0233]

半導体層108の絶縁層110aと接する領域、及び、絶縁層110cと接する領域の少なくとも一つは、チャンネル形成領域と比較して電気抵抗が低い領域（以下、低抵抗領域とも記す）とすることもできる。当該領域は、チャンネル形成領域と比較してキャリア濃度が高い領域、酸素欠陥密度が高い領域ともいえる。絶縁層110aに不純物（例えば、水及び水素）を放出する材料を用いることで、半導体層108の絶縁層110aと接する領域を低抵抗領域とすることができる。半導体層108は、導電層112aと接する領域（ソース領域及びドレイン領域の一方）とチャンネル形成領域との間に、低抵抗領域を有する構成とすることができる。同様に、絶縁層110cに不純物を放出する材料を用いることで、半導体層108の絶縁層110cと接する領域を低抵抗領域とすることができる。半導体層108は、導電層112bと接する領域（ソース領域及びドレイン領域の他方）とチャンネル形成領域との間に、低抵抗領域を有する構成とすることができる。低抵抗領域は、ドレイン電界を緩和するためのバッファ領域として機能することができる。なお、これらの低抵抗領域が、ソース領域またはドレイン領域として機能する構成とすることもできる。

#### [0234]

なお、絶縁層110aから放出された不純物が、絶縁層110bを介して、または半導体層108のソース領域及びドレイン領域の一方を介して、チャンネル形成領域に拡散する場合がある。同様に、絶縁層110cから放出された不純物が、絶縁層110bを介して、または半導体層108のソース領域及びドレイン領域の他方を介して、チャンネル形成領域に拡散する場合がある。しかしながら、少なくとも半導体層108の絶縁層110bと接する領域には絶縁層110bから酸素が供給されるため、チャンネル形成領域の酸素欠損 ( $V_o$ ) 及び $V_oH$ を低減することができる。これにより、しきい値電圧がシフトすることが抑制され、小さいカットオフ電流と、大きいオン電流が両立したトランジスタとすることができる。したがって、低い消費電力と高い性能が両立した半導体装置とすることができる。

#### [0235]

ただし、絶縁層110a及び絶縁層110cから放出される不純物の量が多くなりすぎる場合、当該不純物によって生成される酸素欠損 ( $V_o$ ) 及び $V_oH$ の量が、絶縁層110bから供給される酸素によって修復される酸素欠損 ( $V_o$ ) 及び $V_oH$ の量よりも多くなる恐れがある。絶縁層110a及び絶縁層110cに不純物を放出する材料を用いる場合であっても、放出される不純物の量は少ないことがより好ましい。

#### [0236]

絶縁層110a、絶縁層110b及び絶縁層110cの一以上を積層構造とすることができる。

#### [0237]

絶縁層 110c を積層構造とする場合、絶縁層 110c を構成する各層は絶縁層 110c の説明で挙げた材料を用いることができる。絶縁層 110b 側に設けられる層には酸化物または酸化窒化物を好適に用いることができる。より具体的には、絶縁層 110b 側に設けられる層に、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、ハフニウムアルミネート、酸化マグネシウム、酸化ガリウム、及びガリウム亜鉛酸化物の一または複数を特に好適に用いることができる。絶縁層 110b 側に設けられる層に酸化物または酸化窒化物を用いることにより、当該層（または当該層となる膜）を形成する際に、絶縁層 110b（または絶縁層 110b となる絶縁膜）に酸素を供給することができ、好ましい。絶縁層 110c は、例えば、酸化物または酸化窒化物を有する第 1 の膜と、第 1 の膜上の窒化物または窒化酸化物を有する第 2 の膜との積層構造とすることができる。より具体的には、絶縁層 110c は、例えば、酸化アルミニウム膜と、当該酸化アルミニウム膜上の窒化シリコン膜の積層構造とすることができる。

[0238]

[開口部 141、開口部 143]

開口部 141、及び開口部 143 の上面形状に限定はなく、それぞれ、例えば、円形、楕円形、三角形、四角形（長方形、菱形、正方形を含む）、五角形などの多角形、またはこれら多角形の角が丸い形状とすることができる。なお、多角形は、凹多角形（少なくとも一つの内角が 180 度を超える多角形）及び凸多角形（全ての内角が 180 度以下である多角形）のどちらであってもよい。図 1A 等に示すように、開口部 141、及び開口部 143 の上面形状は、それぞれ、円形であることが好ましい。開口部の上面形状を円形とすることにより、開口部を形成する際の加工精度を高めることができ、微細なサイズの開口部を形成することができる。なお、本明細書等において、円形とは真円に限定されない。

[0239]

本明細書等において、開口部 141 の上面形状とは、絶縁層 110 の開口部 141 側の上面端部の形状を指す。また、開口部 143 の上面形状とは、導電層 112b の開口部 143 側の下面端部の形状を指す。

[0240]

図 1A 等に示すように、開口部 141 の上面形状と開口部 143 の上面形状とは互いに一致、または概略一致させることができる。このとき、図 1B 及び図 1C 等に示すように、導電層 112b の開口部 143 側の下面端部は、絶縁層 110 の開口部 141 側の上面端部と一致、または概略一致することが好ましい。導電層 112b の下面とは、絶縁層 110 側の面を指す。絶縁層 110 の上面とは、導電層 112b 側の面を指す。なお、開口部 141 の上面形状と開口部 143 の上面形状とは互いに一致しない構成とすることもできる。なお、開口部 141 と開口部 143 の上面形状が円形であるとき、開口部 141 と開口部 143 は同心円状であってもよく、同心円状でなくてもよい。

[0241]

トランジスタ 100 のチャンネル長及びチャンネル幅について、図 3A 及び図 3B を用いて説明する。

[0242]

図 3B では、トランジスタ 100 のチャンネル長  $L_{100}$  を破線の両矢印で示している。トランジスタ 100 のチャンネル長  $L_{100}$  は、断面視における絶縁層 110b の開口部 141 側の側面の長さに相当する。つまり、チャンネル長  $L_{100}$  は、絶縁層 110b の厚さ  $T_{110b}$ 、及び絶縁層 110b の開口部 141 側の側面と絶縁層 110b の被形成面（ここでは、絶縁層 110a の上面）とのな

す角の角度 $\theta$  110bで決まる。したがって、チャンネル長L100を露光装置の露光の最小寸法よりも小さな値とすることができ、微細なサイズのトランジスタを実現することができる。具体的には、従来のフラットパネルディスプレイの量産用の露光装置（例えば、最小寸法 $2\mu\text{m}$ または $1.5\mu\text{m}$ 程度）では実現できなかった、極めて短いチャンネル長のトランジスタを実現することができる。また、最先端のLSI技術で用いられる極めて高額な露光装置を用いることなく、チャンネル長が $10\text{nm}$ 未満のトランジスタを実現することもできる。

[0243]

なお、図3に示す断面図では、絶縁層110aの上面、導電層112aの上面、及び基板102の上面が互いに平行である構成を示している。このとき、角度 $\theta$  110bは、図4に示す角度 $\theta$ と同じとなる。角度 $\theta$ については、前述の記載を参照できる。

[0244]

チャンネル長L100は、例えば、 $5\text{nm}$ 以上、 $7\text{nm}$ 以上、または $10\text{nm}$ 以上であって、 $3\mu\text{m}$ 未満、 $2.5\mu\text{m}$ 以下、 $2\mu\text{m}$ 以下、 $1.5\mu\text{m}$ 以下、 $1.2\mu\text{m}$ 以下、 $1\mu\text{m}$ 以下、 $500\text{nm}$ 以下、 $300\text{nm}$ 以下、 $200\text{nm}$ 以下、 $100\text{nm}$ 以下、 $50\text{nm}$ 以下、 $30\text{nm}$ 以下、または $20\text{nm}$ 以下とすることができる。例えば、チャンネル長L100を、 $100\text{nm}$ 以上 $1\mu\text{m}$ 以下とすることもできる。

[0245]

チャンネル長L100を短くすることにより、トランジスタ100のオン電流を大きくすることができる。トランジスタ100を用いることにより、高速動作が可能な回路を作製することができる。さらには回路の占有面積を縮小することが可能となる。したがって、小型の半導体装置とすることができる。例えば、本発明の一態様の半導体装置を大型の表示装置、または高精細な表示装置に適用する際、配線数が増加した場合においても、各配線における信号遅延を低減することができ、表示ムラを抑制することができる。また、回路の占有面積を縮小できるため、表示装置の額縁を狭くすることができる。

[0246]

絶縁層110bの厚さT110b及び角度 $\theta$  110bを調整することにより、チャンネル長L100を制御することができる。

[0247]

絶縁層110bの厚さT110bは、例えば、 $5\text{nm}$ 以上、 $7\text{nm}$ 以上、または $10\text{nm}$ 以上であって、 $3\mu\text{m}$ 未満、 $2.5\mu\text{m}$ 以下、 $2\mu\text{m}$ 以下、 $1.5\mu\text{m}$ 以下、 $1.2\mu\text{m}$ 以下、 $1\mu\text{m}$ 以下、 $500\text{nm}$ 以下、 $300\text{nm}$ 以下、 $200\text{nm}$ 以下、 $100\text{nm}$ 以下、 $50\text{nm}$ 以下、 $30\text{nm}$ 以下、または $20\text{nm}$ 以下とすることができる。

[0248]

なお、角度 $\theta$  110bが小さいほど、チャンネル長L100を長くすることができ、角度 $\theta$  110bが大きいほど、チャンネル長L100を短くすることができる。

[0249]

図1B等では、角度 $\theta$  110bを $90$ 度未満で示しているが、本発明の一態様はこれに限られない。図10に示すように、角度 $\theta$  110bを $90$ 度または概略 $90$ 度とすることができる。これにより、トランジスタ100のチャンネル長L100を短くすることができる。

[0250]

角度 $\theta$  1 1 0 bが90度の構成において、絶縁層106を介して不純物元素を供給する場合、当該不純物元素がチャンネル形成領域に達するには、当該不純物元素が絶縁層106、及び半導体層108の導電層112bと接する領域並びに絶縁層110cと接する領域を通過することになる。このとき、当該不純物元素は、厚さTbの絶縁層106と、厚さHb、厚さT112b、及び厚さT110cの和の分の半導体層108を通過する（図4参照）。したがって、チャンネル形成領域における深さは、導電層112bの上面に沿って設けられている領域における深さより深くなる。したがって、チャンネル形成領域における不純物元素の濃度Ncは、領域108Dbにおける不純物元素の濃度Nbより低くなる。また、濃度Ncは、領域108Daにおける不純物元素の濃度Naより低くなる。なお、半導体層108に用いる材料の膜密度が高いほど、イオン注入における阻止能が高くなり、チャンネル形成領域に到達する不純物元素の量が少なくなる。例えば、絶縁層106より半導体層108の膜密度が高い場合、同じ深さであっても、半導体層108に供給される不純物元素の量は少なくなる。

[0251]

図1B等では、断面視において、絶縁層110の開口部141側の側面の形状が直線である構成を示しているが、本発明の一態様はこれに限られない。断面視において、絶縁層110の開口部141側の側面の形状は曲線であってもよく、また側面の形状が直線である領域と曲線である領域の双方を有してもよい。

[0252]

ここで、導電層112bは、開口部141の内側に設けないことが好ましい。具体的には、導電層112bは、絶縁層110の開口部141側の側面と接する領域を有さないことが好ましい。導電層112bを開口部141の内側にも設ける場合、トランジスタ100のチャンネル長L100が絶縁層110bの側面の長さより短くなり、チャンネル長L100の制御が困難になってしまう場合がある。したがって、開口部143の上面形状が開口部141の上面形状と一致、または、上面視（平面視ともいう）において開口部143が開口部141を包含することが好ましい。

[0253]

図3A及び図3Bでは、開口部141の幅D141を二点鎖線の両矢印で示している。図3Aでは、開口部141の上面形状が円形である例を示す。このとき、幅D141は当該円の直径に相当し、トランジスタ100のチャンネル幅W100は当該円の円周の長さとなる。すなわち、チャンネル幅W100は、 $\pi \times D141$ となる。このように、開口部141の上面形状が円形であると、他の形状に比べて、チャンネル幅W100の小さいトランジスタを実現できる。

[0254]

開口部141の幅D141は、深さ方向で変化する場合がある。開口部141の幅D141として、例えば、断面視における絶縁層110b（または絶縁層110）の最も高い位置の径、最も低い位置の径、及びこれらの中間点の位置の径の3つの平均値を用いることができる。または、開口部141の径として、例えば、断面視における絶縁層110b（または絶縁層110）の最も高い位置の径、最も低い位置の径、またはこれらの中間点の位置の径の、いずれかの径を用いることもできる。

[0255]

フォトリソグラフィ法を用いて開口部141を形成する場合、開口部141の幅D141は露光装置の露光の最小寸法以上となる。幅D141は、例えば、200nm以上、300nm以上、400nm以上、または、500nm以上であって、5 $\mu$ m未満、4.5 $\mu$ m以下、4 $\mu$ m以下、3.5 $\mu$ m以下、3 $\mu$ m以下、2.5 $\mu$ m以下、2 $\mu$ m以下、1.5 $\mu$ m以下、または1 $\mu$ m以下とするこ

とができる。

[0256]

なお、ここでは半導体層108の絶縁層110bと接する領域がチャネル形成領域として機能する構成を例に挙げて説明したが、本発明の一態様はこれに限られない。半導体層108の絶縁層110aと接する領域もチャネル形成領域として機能してもよい。同様に、絶縁層110cと接する領域もチャネル形成領域として機能してもよい。

[0257]

[導電層112a、導電層112b、導電層104]

導電層112a、導電層112b、及び導電層104はそれぞれ、単層構造、または2層以上の積層構造とすることができる。導電層112a、導電層112b、及び導電層104に用いることができる材料として、それぞれ、例えば、クロム、銅、アルミニウム、金、銀、亜鉛、タンタル、チタン、タングステン、マンガン、ニッケル、鉄、コバルト、モリブデン、及びニオブの一または複数、並びに前述した金属の一または複数を成分とする合金が挙げられる。導電層112a、導電層112b、及び導電層104には、それぞれ、銅、銀、金、及びアルミニウムのうち一または複数を含む、電気抵抗率の低い導電材料を好適に用いることができる。特に、銅またはアルミニウムは量産性に優れるため好ましい。

[0258]

導電層112a、導電層112b、及び導電層104にはそれぞれ、導電性を有する金属酸化物(酸化物導電体ともいう)を用いることができる。酸化物導電体(Oxide Conductor)として、例えば、酸化インジウム、酸化亜鉛、In-Sn酸化物(ITO)、In-Zn酸化物、In-W酸化物、In-W-Zn酸化物、In-Ti酸化物、In-Ti-Sn酸化物、In-Sn-Si酸化物(シリコンを含むITO、ITSOともいう)、ガリウムを添加した酸化亜鉛、及びIn-Ga-Zn酸化物が挙げられる。特にインジウムを含む酸化物導電体は、導電性が高いため好ましい。

[0259]

半導体特性を有する金属酸化物に酸素欠損を形成し、該酸素欠損に水素を添加すると、伝導帯近傍にドナー準位が形成される。この結果、金属酸化物は、導電性が高くなり導電体化する。導電体化された金属酸化物を、酸化物導電体とすることができる。

[0260]

導電層112a、導電層112b、及び導電層104はそれぞれ、前述の酸化物導電体(金属酸化物)を含む導電膜と、金属または合金を含む導電膜と、の積層構造とすることができる。金属または合金を含む導電膜を用いることで、配線抵抗を小さくすることができる。

[0261]

導電層112a、導電層112b、及び導電層104はそれぞれ、Cu-X合金膜(Xは、Mn、Ni、Cr、Fe、Co、Mo、Ta、またはTi)を適用することもできる。Cu-X合金膜を用いることで、ウェットエッチング法により加工できるため、製造コストを削減できる。

[0262]

なお、導電層112a、導電層112b、及び導電層104は互いに同じ材料を用いることができる。または、これらの少なくとも一つに異なる材料を用いることもできる。

[0263]

導電層 112a 及び導電層 112b はそれぞれ、半導体層 108 と接する領域を有する。半導体層 108 に酸化物半導体を用いる場合、導電層 112a または導電層 112b に酸化されやすい金属（例えば、アルミニウム）を用いると、導電層 112a または導電層 112b と半導体層 108 との間に絶縁性の酸化物（例えば、酸化アルミニウム）が形成され、これらの導通を妨げる恐れがある。そのため、導電層 112a 及び導電層 112b には、酸化されにくい導電材料、酸化されても電気抵抗が低く保たれる導電材料、または酸化物導電体を用いることが好ましい。

[0264]

導電層 112a 及び導電層 112b には、それぞれ、例えば、チタン、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、ルテニウム、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。これらは、酸化されにくい導電材料、または、酸化されても電気抵抗が低く保たれる材料であるため、好ましい。なお、導電層 112a または導電層 112b が積層構造である場合、少なくとも半導体層 108 と接する層に、酸化されにくい導電材料を用いることが好ましい。

[0265]

導電層 112a 及び導電層 112b には、それぞれ、前述の酸化物導電体を用いることができる。具体的には、酸化インジウム、酸化亜鉛、ITO、In-Zn 酸化物、In-W 酸化物、In-W-Zn 酸化物、In-Ti 酸化物、In-Ti-Sn 酸化物、シリコンを含む In-Sn 酸化物、ガリウムを添加した酸化亜鉛などの酸化物導電体を用いることができる。

[0266]

導電層 112a 及び導電層 112b にはそれぞれ、窒化物導電体を用いることもできる。窒化物導電体として、例えば、窒化タンタル、及び窒化チタンが挙げられる。また、導電層 104 に、前述の窒化物導電体を用いることができる。

[0267]

導電層 112a、導電層 112b 及び導電層 104 の一以上が積層構造を有する構成とすることができる。

[0268]

本発明の一態様である半導体装置 10A の断面図を、図 11A 乃至図 11D に示す。半導体装置 10A の上面図は、図 1A を参照できる。図 11A 乃至図 11D はそれぞれ、図 1A に示す一点鎖線 A1-A2 における切断面の断面図である。

[0269]

半導体装置 10A は、トランジスタ 100A と、絶縁層 110 と、を有する。トランジスタ 100A は、導電層 112a が積層構造を有する点で、図 1B 等に示すトランジスタ 100 と主に異なる。

[0270]

図 11A 及び図 11B は、導電層 112a が導電層 112a\_\_1 と、導電層 112a\_\_1 上の導電層 112a\_\_2 との 2 層構造を有する構成を示している。

[0271]

半導体層 108 と接する領域を有する導電層 112a\_\_2 には、酸化されにくい導電材料、酸化されても電気抵抗が低く保たれる導電材料、または酸化物導電体を用いることが好ましい。導電層 112a\_\_2 は、導電層 112a の説明で挙げた材料を用いることができる。

[0272]

導電層112a\_\_1は、半導体層108と接する領域を有さないため、用いる材料は特に限定されない。例えば、導電層112a\_\_1は、導電層112a\_\_2より電気抵抗率の低い材料を用いることが好ましい。これにより、導電層112aの電気抵抗を低くすることができる。例えば、導電層112a\_\_2にIn-Sn-Si酸化物(ITSO)を、導電層112a\_\_1に銅またはタングステンを好適に用いることができる。

[0273]

図11Aに示すように、導電層112a\_\_2の端部は、導電層112a\_\_1の端部と揃っている、または概略揃っている構成とすることができる。例えば、導電層112a\_\_1となる第1の膜と、導電層112a\_\_2となる第2の膜を形成し、第2の膜上にマスク層(例えば、フォトレジスト)を形成する。そして、マスク層をマスクに第1の膜及び第2の膜を加工することにより、導電層112aを形成できる。第1の膜と第2の膜を同じマスク層を用いて同じ工程で加工することにより、製造コストを削減できる。

[0274]

導電層112a\_\_2の端部は、導電層112a\_\_1の端部と揃っていない構成とすることができる。図11Bに示すように、導電層112a\_\_2が導電層112a\_\_1を覆うように設けることができる。導電層112a\_\_2は、導電層112a\_\_1の上面及び側面と接する領域を有する。導電層112a\_\_2は、導電層112a\_\_1の端部より突出した部分を有するともいえる。例えば、導電層112a\_\_1を形成し、導電層112a\_\_1上に導電層112a\_\_2となる膜を形成し、当該膜を加工して導電層112a\_\_2を形成することができる。導電層112a\_\_2を導電層112a\_\_1の端部より突出させることにより、導電層112a上に形成される層(例えば、絶縁層110)の被形成面の段差が小さくなり、当該層の被覆性を高めることができる。これにより、当該層に段切れまたは鬆といった不具合が発生することを抑制できる。

[0275]

なお、図11A及び図11Bでは、導電層112aを構成する各層の厚さを互いに同じ、または概略同じに示しているが、本発明の一態様はこれに限られない。導電層112aを構成する各層の厚さの一部または全てが異なる構成とすることができる。例えば、電気抵抗率の低い材料を用いる層の厚さを他の層より厚くすることにより、導電層112aの電気抵抗を低くすることができ、より好ましい。具体的には、導電層112a\_\_1に導電層112a\_\_2より電気抵抗率の低い材料を用い、導電層112a\_\_1の厚さを導電層112a\_\_2の厚さより厚くすることができる。これにより、導電層112aの電気抵抗を低くすることができる。

[0276]

図11C及び図11Dは、導電層112aが導電層112a\_\_3と、導電層112a\_\_3上の導電層112a\_\_1と、導電層112a\_\_1上の導電層112a\_\_2との3層構造を有する構成を示している。

[0277]

図11Cに示すように、導電層112a\_\_1の端部は、導電層112a\_\_3の上面と接する構成とすることができる。導電層112a\_\_2は、導電層112a\_\_1の上面及び側面、並びに導電層112a\_\_3の上面と接する領域を有する。つまり、導電層112a\_\_2及び導電層112a\_\_3はそれぞれ、導電層112a\_\_1の端部より突出した部分を有するともいえる。また、導電層112a\_\_1

は、導電層112a\_\_2と導電層112a\_\_3により上面、側面及び下面を包み込まれているともいえる。導電層112a\_\_3は、導電層112a\_\_3の被形成面（ここでは、基板102の表面）との密着性が高い材料を用いることが好ましい。

[0278]

前述したように、導電層112a\_\_1は電気抵抗率の低い材料を用いることが好ましい。しかしながら、材料によっては導電層112a\_\_1と導電層112a\_\_1の被形成面（例えば、基板102の表面）との密着性が低く、半導体装置の製造歩留まりが低くなってしまふ恐れがある。導電層112a\_\_3に、導電層112a\_\_1より被形成面との密着性が高い材料を用いることにより、半導体装置の製造歩留まりを高くすることができる。なお、導電層112a\_\_3の厚さは、導電層112aの被形成面との密着性を高める効果を奏する厚さとすることができ、導電層112a\_\_1及び導電層112a\_\_2のそれぞれの厚さより薄くすることができる。導電層112a\_\_3の厚さを薄くすることにより、製造コストを低くすることができる。

[0279]

例えば、導電層112a\_\_3にIn-Sn-Si酸化物（ITSO）を、導電層112a\_\_1に銅を、導電層112a\_\_2にIn-Sn-Si酸化物（ITSO）を好適に用いることができる。基板102にガラス基板を用いる場合、ガラス基板と銅膜の密着性と比較して、ガラス基板とITSO膜の密着性が高い。また、導電層112a\_\_2と導電層112a\_\_3に同じ材料を用いることにより、導電層112a\_\_2及び導電層112a\_\_3を同じ工程で形成する際の加工が容易となり、半導体装置の製造歩留まりを高めることができる。

[0280]

図11Cに示すように、導電層112a\_\_2の端部は、導電層112a\_\_3の端部と揃っている、または概略揃っている構成とすることができる。例えば、導電層112a\_\_3となる第1の膜を形成し、第1の膜上に導電層112a\_\_1を形成し、第1の膜及び導電層112a\_\_1上に、導電層112a\_\_2となる第2の膜を形成する。第2の膜上にマスク層（例えば、フォトレジスト）を形成する。そして、マスク層をマスクに第1の膜及び第2の膜を加工することにより、導電層112a\_\_3、導電層112a\_\_1及び導電層112a\_\_2を有する導電層112aを形成できる。第1の膜と第2の膜を同じ工程で加工することにより、製造コストを削減できる。または、図11Dに示すように、導電層112a\_\_1の端部が、導電層112a\_\_3の端部と揃っている、または概略揃っている構成とすることができる。

[0281]

ここでは、導電層112aが2層または3層の積層構造を有する例を示したが、本発明の一態様はこれに限られない。導電層112aを4層以上の積層構造とすることもできる。

[0282]

なお、図11A乃至図11Dで示した導電層112aの構成は、他の構成例にも適用できる。

[0283]

[絶縁層106]

絶縁層106は、1層以上の無機絶縁層を有することが好ましい。絶縁層106は、絶縁層110に用いることができる材料を用いることができる。

[0284]

絶縁層106は、半導体層108、導電層112b、導電層104及び絶縁層110と接する領域

を有する。半導体層108に金属酸化物を用いる場合、絶縁層106を構成する膜のうち、少なくとも半導体層108と接する膜には、前述の酸化物及び酸化窒化物のいずれかを用いることが好ましい。絶縁層106が単層構造の場合、絶縁層106には、酸化シリコン、酸化窒化シリコンまたは酸化アルミニウムを好適に用いることができる。

[0285]

なお、微細なトランジスタにおいて、ゲート絶縁層の厚さが薄くなると、リーク電流が大きくなってしまう場合がある。ゲート絶縁層に、比誘電率の高い材料（high-k材料ともいう）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。絶縁層106に用いることができるhigh-k材料として、例えば、酸化ガリウム、酸化ハフニウム、酸化ジルコニウム、アルミニウム及びハフニウムを有する酸化物、アルミニウム及びハフニウムを有する酸化窒化物、シリコン及びハフニウムを有する酸化物、シリコン及びハフニウムを有する酸化窒化物、並びに、シリコン及びハフニウムを有する窒化物が挙げられる。

[0286]

図1B等では絶縁層106を単層構造で示しているが、本発明の一態様はこれに限られない。絶縁層106を2層以上の積層構造とすることができる。図12は、絶縁層106が絶縁層106aと、絶縁層106a上の絶縁層106bとの2層構造を有する構成を示している。

[0287]

本発明の一態様である半導体装置10Bの断面図を、図12に示す。半導体装置10Bの上面図は、図1Aを参照できる。図12は、図1Aに示す一点鎖線A1-A2における切断面の断面図である。

[0288]

半導体装置10Bは、トランジスタ100Bと、絶縁層110と、を有する。トランジスタ100Bは、絶縁層106が積層構造を有する点で、図1B等に示すトランジスタ100と主に異なる。

[0289]

絶縁層106を積層構造とする場合、半導体層108側の絶縁層（ここでは、絶縁層106a）は酸化物または酸化窒化物を有することが好ましい。絶縁層106aは、例えば、酸化シリコン、酸化窒化シリコンまたは酸化アルミニウムの一以上を好適に用いることができる。

[0290]

絶縁層106を構成する層の一以上に、物質が透過しにくい材料を用いることが好ましい。当該層は、バリア膜として機能するともいえる。バリア膜として機能する層を設けることにより、導電層104に含まれる金属成分、及びトランジスタ100上に形成される層に含まれる不純物（例えば、水及び水素）が、絶縁層106を介して、半導体層108に拡散することを抑制できる。さらに、半導体層108に含まれる酸素が、絶縁層106を介して、導電層104側に拡散することを抑制できる。これにより、半導体層108に酸素欠損（ $V_o$ ）が形成されることを抑制できる。また、半導体層108に含まれる酸素によって導電層104が酸化され、導電層104の電気抵抗が高くなることを抑制できる。その結果、良好な電気特性を示し、かつ信頼性の高いトランジスタとすることができる。バリア膜として機能する当該層は、前述の窒化物及び窒化酸化物のいずれか一つまたは複数を用いることが好ましい。または、当該層として酸化物及び酸化窒化物のいずれか一つまたは複数を用いることもでき、例えば、酸化アルミニウムを好適に用いることができる。

[0291]

絶縁層106を積層構造とする場合、例えば、絶縁層106aに酸化窒化シリコンを用い、絶縁層

106bに窒化シリコンを用いることができる。または、絶縁層106aに酸化窒化シリコンを用い、絶縁層106bに酸化アルミニウムを用いることができる。または、絶縁層106aに酸化アルミニウムを用い、絶縁層106bに酸化窒化シリコンを用いることができる。または、絶縁層106aに酸化アルミニウムを用い、絶縁層106bに窒化シリコンを用いることができる。

[0292]

ここでは、絶縁層106が2層の積層構造を有する例を示したが、本発明の一態様はこれに限られない。絶縁層106を3層以上の積層構造とすることもできる。

[0293]

なお、図12で示した絶縁層106の構成は、他の構成例にも適用できる。

[0294]

[基板102]

基板102の材質に大きな制限はないが、少なくとも、後の熱処理に耐えうる程度の耐熱性を有している必要がある。例えば、シリコン、または炭化シリコンを材料とした単結晶半導体基板、多結晶半導体基板、シリコンゲルマニウム等の化合物半導体基板、SOI基板、ガラス基板、石英基板、サファイア基板、セラミック基板、または樹脂基板を、基板102として用いることができる。また、基板102として、半導体素子が設けられている基板を用いることができる。なお、半導体基板、及び絶縁性基板の形状は円形であってもよく、角形であってもよい。

[0295]

基板102として、可撓性基板を用い、可撓性基板上に直接、トランジスタ100等を形成することができる。または、基板102とトランジスタ100等の間に剥離層を設けることができる。剥離層を設けることにより、その上に半導体装置を一部あるいは全部完成させた後、基板102より分離し、他の基板に転載することができる。その際、トランジスタ100等を耐熱性の低い基板、または可撓性基板にも転載できる。

[0296]

以下では、前述の構成例と一部の構成が異なる半導体装置の構成例について、説明する。なお、以下では、前述の構成例と重複する部分は説明を省略する場合がある。また、以下で示す図面において、前述の構成例と同様の機能を有する部分についてはハッチングパターンを同じくし、符号を付さない場合もある。

[0297]

[構成例1-2]

本発明の一態様である半導体装置10Cの断面図を、図13A及び図13Bに示す。半導体装置10Bの上面図は、図1Aを参照できる。図13Aは、図1Aに示す一点鎖線A1-A2における切断面の断面図であり、図13Bは、図1Aに示す一点鎖線B1-B2における切断面の断面図である。

[0298]

半導体装置10Cは、トランジスタ100と、絶縁層110と、を有する。半導体装置10Cは、絶縁層110が絶縁層110d及び絶縁層110eを有する点で、図1B等に示す半導体装置10と主に異なる。

[0299]

図13Aの拡大図を、図13Cに示す。絶縁層110は、絶縁層110dと、絶縁層110d上の絶縁層110aと、絶縁層110a上の絶縁層110bと、絶縁層110b上の絶縁層110cと、

絶縁層 110c 上の絶縁層 110e と、を有する。絶縁層 110d 及び絶縁層 110e はそれぞれ、絶縁層 110a の説明で挙げた材料を用いることができる。絶縁層 110d 及び絶縁層 110e はそれぞれ、例えば、窒化シリコンまたは窒化酸化シリコンを好適に用いることができる。なお、絶縁層 110d と絶縁層 110e は同じ材料を用いることができる。または、これらに異なる材料を用いることができる。

[0300]

絶縁層 110d は、基板 102 及び導電層 112a と、絶縁層 110a との間に設けられる。絶縁層 110d は、導電層 112a を覆うように設けられる。絶縁層 110d は、導電層 112a の上面及び側面、基板 102 の上面、並びに半導体層 108 の側面と接する領域を有する。

[0301]

絶縁層 110e は、導電層 112b 及び絶縁層 106 と、絶縁層 110c との間に設けられる。絶縁層 110e は、絶縁層 110c の上面、導電層 112b の下面、絶縁層 106 の下面、及び半導体層 108 の側面と接する領域を有する。

[0302]

絶縁層 110d 及び絶縁層 110e はそれぞれ、半導体層 108 の電気抵抗を低くする不純物（例えば、水及び水素）を放出する材料を用いることがより好ましい。これにより、半導体層 108 の絶縁層 110d と接する領域を低抵抗領域とすることができる。半導体層 108 は、導電層 112a と接する領域（ソース領域及びドレイン領域の一方）とチャネル形成領域との間に、低抵抗領域を有する構成とすることができる。同様に、絶縁層 110e に不純物を放出する材料を用いることで、半導体層 108 の絶縁層 110e と接する領域を低抵抗領域とすることができる。半導体層 108 は、導電層 112b と接する領域（ソース領域及びドレイン領域の他方）とチャネル形成領域との間に、低抵抗領域を有する構成とすることができる。低抵抗領域は、ドレイン電界を緩和するためのバッファ領域として機能することができる。なお、これらの低抵抗領域が、ソース領域またはドレイン領域として機能してもよい。

[0303]

ドレイン領域とチャネル形成領域との間に低抵抗領域を設けることにより、ドレイン領域近傍に高い電界が生じにくくなり、ホットキャリアの発生を抑制し、トランジスタの劣化を抑制することができる。例えば、導電層 112a がドレイン電極として機能し、導電層 112b がソース電極として機能する場合、半導体層 108 の絶縁層 110d と接する領域を低抵抗領域とすることにより、ドレイン領域近傍に高い電界が生じにくくなり、ホットキャリアの発生を抑制し、トランジスタの劣化を抑制することができる。導電層 112a がソース電極として機能し、導電層 112b がドレイン電極として機能する場合、半導体層 108 の絶縁層 110e と接する領域を低抵抗領域とすることにより、ドレイン領域近傍に高い電界が生じにくくなり、ホットキャリアの発生を抑制し、トランジスタの劣化を抑制することができる。

[0304]

半導体層 108 の絶縁層 110d と接する領域がソース領域またはドレイン領域として機能する場合、半導体層 108 のソース領域からゲート電極までの距離と、ドレイン領域からゲート電極までの距離をより均一にすることができる。これにより、チャネル形成領域にかかるゲート電極の電界をより均一にすることができる。

[0305]

絶縁層110aは自身から放出される不純物の量が少なく、かつ不純物が透過しにくいことが好ましい。これにより、不純物が絶縁層110a及び絶縁層110bを介して、半導体層108のチャンネル形成領域に拡散することを抑制できる。同様に、絶縁層110cは自身から放出される不純物の量が少なく、かつ不純物が透過しにくいことが好ましい。これにより、不純物が絶縁層110c及び絶縁層110bを介して、半導体層108のチャンネル形成領域に拡散することを抑制できる。これにより、良好な電気特性を示し、かつ信頼性の高いトランジスタとすることができる。

[0306]

半導体層108に金属酸化物を用いる場合、絶縁層110d及び絶縁層110eが放出する不純物は水素を含むとより好ましい。水素は、金属酸化物の金属原子と結合する酸素と反応して水になり、酸素欠損( $V_o$ )が形成される。さらに、酸素欠損( $V_o$ )に水素が入った欠陥( $V_oH$ )はドナーとして機能し、キャリアである電子が生成される。これにより、半導体層108の絶縁層110dと接する領域、及び絶縁層110eと接する領域のキャリア濃度が高くなり、電気抵抗を低くすることができる。

[0307]

絶縁層110dは、絶縁層110aより水素の含有量が多い領域を有することが好ましい。絶縁層110の水素の含有量の分析には、例えば、二次イオン質量分析法(SIMS)を用いることができる。

[0308]

絶縁層110dと絶縁層110aで、成膜条件を異ならせることで、放出される水素の量を調整することができる。具体的には、絶縁層110dと絶縁層110aで、形成時の成膜電力(成膜電力密度)、成膜圧力、成膜ガス種、成膜ガス流量比、成膜温度、及び基板と電極との間の距離のいずれか一または複数を互いに異ならせればよい。例えば、絶縁層110dの成膜電力密度を、絶縁層110aの成膜電力密度よりも小さくすることで、絶縁層110d中の水素の含有量を、絶縁層110a中の水素の含有量よりも多くすることができる。これにより、絶縁層110dに加わる熱により自身から放出される水素の量を多くすることができる。

[0309]

絶縁層110dの形成に用いる成膜ガスにおける水素の含有量は、絶縁層110aの形成に用いる成膜ガスにおける水素の含有量より多いことが好ましい。具体的には、絶縁層110d及び絶縁層110aのそれぞれとして、PECVD法を用いて窒化シリコン膜または窒化酸化シリコン膜を形成する場合、絶縁層110dの形成に用いる成膜ガス全体に対するアンモニアガスの流量の割合(以下、アンモニア流量比ともいう)は、絶縁層110aの形成に用いる成膜ガスのアンモニア流量比より高いことが好ましい。アンモニア流量比が高い条件で絶縁層110dを形成することにより、絶縁層110d中の水素の含有量を多くすることができる。また、絶縁層110dに加わる熱により自身から放出される水素の量を多くすることができる。

[0310]

絶縁層110aの膜密度は、絶縁層110dの膜密度より高いとより好ましい。これにより、絶縁層110dに含まれる水素が、絶縁層110a及び絶縁層110bを介して、半導体層108のチャンネル形成領域に拡散することを抑制できる。膜密度の評価は、例えば、ラザフォード後方散乱法(RBS: Rutherford Backscattering Spectrometry)、またはX線反射率測定法(XRR: X-Ray Reflection)を用いることができる。膜密度

の違いは、断面の透過型電子顕微鏡（TEM）像で評価できる場合がある。TEM観察において、膜密度が高いと透過電子（TE：Transmission Electron）像が濃く（暗く）、膜密度が低いと透過電子（TE）像が淡く（明るく）なる。したがって、透過電子（TE）像において、絶縁層110dと比較して、絶縁層110aは濃い（暗い）像となる場合がある。なお、絶縁層110dと絶縁層110aに同じ材料を適用する場合であっても、膜密度が異なるため、断面のTEM像において、これらの境界をコントラストの違いとして観察することができる場合がある。

[0311]

絶縁層110eは、絶縁層110cより水素の含有量が多い領域を有することが好ましい。絶縁層110cの膜密度は、絶縁層110eの膜密度より高いとより好ましい。絶縁層110c及び絶縁層110eについては、絶縁層110a及び絶縁層110dに係る記載を参照できる。

[0312]

ここでは絶縁層110を5層の積層構造で示しているが、本発明の一態様はこれに限られない。絶縁層110を2層、3層、4層、または6層以上の積層構造とすることができる。または、絶縁層110を単層構造とすることができる。

[0313]

なお、構成例1-2で示した絶縁層110の構成は、他の構成例にも適用できる。

[0314]

[構成例1-3]

本発明の一態様である半導体装置10Dの断面図を、図14A及び図14Bに示す。半導体装置10Dの上面図は、図1Aを参照できる。図14Aは、図1Aに示す一点鎖線A1-A2における切断面の断面図であり、図14Bは、図1Aに示す一点鎖線B1-B2における切断面の断面図である。

[0315]

半導体装置10Dは、トランジスタ100と、絶縁層110と、絶縁層109と、を有する。半導体装置10Dは、基板102と導電層112aとの間に絶縁層109を有する点で、図1B等に示す半導体装置10と主に異なる。

[0316]

基板102上に絶縁層109が設けられ、絶縁層109上に導電層112aが設けられ、導電層112a上に絶縁層110が設けられる。絶縁層109は、導電層112aの下面及び絶縁層110の下面と接する領域を有する。導電層112aは、絶縁層109及び絶縁層110と接し、これらに挟持される領域を有する。絶縁層110は、導電層112aの上面及び側面、絶縁層109の上面、半導体層108の側面、導電層112bの下面、並びに絶縁層106の下面と接する領域を有する。

[0317]

絶縁層109は、半導体層108の電気抵抗を低くする不純物（例えば、水及び水素）を放出する材料を用いることが好ましい。絶縁層109は、絶縁層110d及び絶縁層110eに用いることができる材料を用いることができる。絶縁層109は、例えば、窒化シリコンまたは窒化酸化シリコンを好適に用いることができる。

[0318]

絶縁層109から放出される不純物は、導電層112aの絶縁層109と接する領域に拡散する。また、導電層112aに拡散した不純物は、半導体層108の導電層112aと接する領域に拡散する。これにより、半導体層108の導電層112aと接する領域、つまりソース領域及びドレイン領

域の一方の電気抵抗を低くすることができる。したがって、オン電流の大きいトランジスタとすることができ、高速に動作する半導体装置とすることができる。

[0319]

半導体層108に金属酸化物を用いる場合、絶縁層109が放出する不純物は水素を含むとより好ましい。絶縁層109から導電層112aを介して半導体層108に拡散した水素により、半導体層108の導電層112aと接する領域のキャリア濃度が高くなり、ソース領域及びドレイン領域の一方の電気抵抗を低くすることができる。

[0320]

絶縁層109は、導電層112aの電気抵抗を低くする不純物を放出する材料を用いるとより好ましい。これにより、導電層112aの電気抵抗を低くすることができる。例えば、導電層112aに金属酸化物を用いる場合、当該不純物は水素を含むとより好ましい。これにより、導電層112aのキャリア濃度が高くなり、電気抵抗を低くすることができる。また、導電層112aは配線として機能することができ、配線抵抗の低い半導体装置とすることができる。なお、導電層112aの電気抵抗を低くする不純物は、半導体層108の電気抵抗を低くする不純物と同じであってもよく、異なってもよい。

[0321]

導電層112aに用いることができる材料は前述の通りである。なお、導電層112aは不純物を透過しやすいことがより好ましい。導電層112aは不純物を吸着しにくいことがより好ましい。

[0322]

絶縁層110aは、絶縁層109の上面、並びに導電層112aの上面及び側面と接する領域を有する。これにより、絶縁層109及び導電層112aに含まれる不純物が、絶縁層110bを介して、半導体層108のチャネル形成領域に拡散することを抑制できる。

[0323]

絶縁層109は、絶縁層110aより水素の含有量が多い領域を有することが好ましい。絶縁層110aの膜密度は、絶縁層109の膜密度より高いことが好ましい。絶縁層109については、絶縁層110d及び絶縁層110eに係る記載を参照することができる。

[0324]

なお、絶縁層109から放出された不純物が、導電層112a、並びに半導体層108のソース領域及びドレイン領域の一方を介して、チャネル形成領域に拡散する場合がある。しかしながら、少なくとも半導体層108の絶縁層110bと接する領域には絶縁層110bから酸素が供給されるため、チャネル形成領域の酸素欠損( $V_o$ )及び $V_oH$ を低減することができる。これにより、しきい値電圧がシフトすることが抑制され、小さいカットオフ電流と、大きいオン電流が両立したトランジスタとすることができる。したがって、低い消費電力と高い性能が両立した半導体装置とすることができる。

[0325]

図14A等では、絶縁層110が絶縁層110a、絶縁層110b及び絶縁層110cの3層構造を有する構成を示しているが、本発明の一態様はこれに限られない。例えば、図15A及び図15Bに示すように、絶縁層110が絶縁層110a、絶縁層110b、絶縁層110c及び絶縁層110eを有する構成とすることができる。絶縁層110eは、導電層112bの電気抵抗を低くする不純物を放出する材料を用いるとより好ましい。これにより、導電層112bの電気抵抗を低くすること

ができる。例えば、導電層 112b に金属酸化物を用いる場合、当該不純物は水素を含むとより好ましい。これにより、導電層 112b のキャリア濃度が高くなり、電気抵抗を低くすることができる。導電層 112b は配線として機能することができ、配線抵抗の低い半導体装置とすることができる。また、絶縁層 110 が絶縁層 110d を有する構成とすることもできる。例えば、絶縁層 110 が絶縁層 110a、絶縁層 110b、絶縁層 110c、絶縁層 110d 及び絶縁層 110e を有する構成とすることができる。

[0326]

図 16A に示すように、絶縁層 110 が絶縁層 109 の側面と接する構成とすることができる。また、絶縁層 109 の端部が、導電層 112a の端部と揃っている、または概略揃っている構成とすることができる。例えば、絶縁層 109 となる絶縁膜と、導電層 112a となる導電膜を形成し、これらを加工することにより絶縁層 109 及び導電層 112a を形成することができる。当該絶縁膜及び当該導電膜を同じ工程で加工することにより、製造コストを削減できる。

[0327]

絶縁層 109 の端部は、導電層 112a の端部と揃っていない構成とすることもできる。図 16B に示すように、絶縁層 109 は、導電層 112a の端部より突出した部分を有する構成とすることができる。導電層 112a の端部は、絶縁層 109 の上面と接する。このような構成とすることにより、導電層 112a 及び絶縁層 109 上に形成される層（例えば、絶縁層 110）の被形成面の段差が小さくなり、当該層の被覆性を高めることができる。これにより、当該層に段切れまたは鬆といった不具合が発生することを抑制できる。

[0328]

なお、構成例 1-3 で示した絶縁層 109 の構成は、他の構成例にも適用できる。

[0329]

[構成例 1-4]

本発明の一態様である半導体装置 10E の断面図を、図 17A 及び図 17B に示す。半導体装置 10E の上面図は、図 1A を参照できる。図 17A は、図 1A に示す一点鎖線 A1-A2 における切断面の断面図であり、図 17B は、図 1A に示す一点鎖線 B1-B2 における切断面の断面図である。

[0330]

半導体装置 10E は、トランジスタ 100C と、絶縁層 110 と、を有する。トランジスタ 100C は、半導体層 108 が積層構造を有する点で、図 1B 等に示すトランジスタ 100 と主に異なる。

[0331]

図 17A 及び図 17B は、半導体層 108 が半導体層 108a と、半導体層 108a 上の半導体層 108b と、半導体層 108b 上の半導体層 108c との 3 層構造を有する構成を示している。

[0332]

半導体層 108a、半導体層 108b 及び半導体層 108c はそれぞれ、半導体層 108 の説明で挙げた材料を用いることができる。半導体層 108a、半導体層 108b 及び半導体層 108c はそれぞれ、半導体特性を示す金属酸化物を有することが好ましい。

[0333]

半導体層 108a が有する第 1 の金属酸化物、半導体層 108b が有する第 2 の金属酸化物、及び半導体層 108c が有する第 3 の金属酸化物のバンドギャップはそれぞれ、2.0 eV 以上が好ましく、2.5 eV 以上がより好ましい。

[0334]

第1の金属酸化物のバンドギャップは、第2の金属酸化物のバンドギャップより大きいことが好ましい。第3の金属酸化物のバンドギャップは、第2の金属酸化物のバンドギャップより大きいことが好ましい。半導体層108bが、半導体層108bよりもバンドギャップの大きい半導体層108aと半導体層108cに挟持され、埋め込みチャネルの構成とすることができる。これにより、半導体層108において、主な電流経路は半導体層108bとなる。

[0335]

第1の金属酸化物のバンドギャップと第2の金属酸化物のバンドギャップの差は、0.1 eV以上が好ましく、さらには0.2 eV以上が好ましく、さらには0.3 eV以上が好ましく、さらには0.5 eV以上が好ましい。第3の金属酸化物のバンドギャップと第2の金属酸化物のバンドギャップの差は、0.1 eV以上が好ましく、さらには0.2 eV以上が好ましく、さらには0.3 eV以上が好ましく、さらには0.5 eV以上が好ましい。

[0336]

第1の金属酸化物の伝導帯下端は、第2の金属酸化物の伝導帯下端より真空準位に近いことが好ましい。第3の金属酸化物の伝導帯下端は、第2の金属酸化物の伝導帯下端より真空準位に近いことが好ましい。言い換えると、第1の金属酸化物の電子親和力は、第2の金属酸化物の電子親和力より小さいことが好ましい。第3の金属酸化物の電子親和力は、第2の金属酸化物の電子親和力より小さいことが好ましい。

[0337]

第1の金属酸化物、第2の金属酸化物及び第3の金属酸化物のバンドギャップの評価には、分光光度計による光学評価、分光エリプソメトリ、フォトルミネッセンス法、X線光電子分光法(XPS、またはESCA)、またはX線吸収微細構造(XAFS: X-ray Absorption Fine Structure)を用いることができる。または、これらの手法を複数組み合わせることもできる。電子親和力または伝導帯下端は、真空準位と価電子帯上端のエネルギーとの差であるイオン化ポテンシャルと、バンドギャップから求めることができる。イオン化ポテンシャルの評価には、例えば、紫外線光電子分光分析(UPS: Ultraviolet Photoelectron Spectrometry)を用いることができる。

[0338]

絶縁層110と半導体層108の界面及びその近傍には、不純物または欠陥に起因するトラップ準位が形成されうる。当該不純物として、開口部141を形成する際に用いるエッチャントまたはエッチングガスの残留成分、及び開口部141を形成する際に絶縁層110の側面に付着する導電層112a及び導電層112bの成分が挙げられる。半導体層108bと絶縁層110の間に半導体層108aを設けることにより、半導体層108bと当該トラップ準位を遠ざけることができる。

[0339]

絶縁層106と半導体層108の界面及びその近傍には、絶縁層106の形成の際にダメージが加わる場合がある。これにより、絶縁層106と半導体層108の界面及びその近傍にトラップ準位が形成されうる。半導体層108bと絶縁層106の間に半導体層108cを設けることにより、半導体層108bと当該トラップ準位を遠ざけることができる。

[0340]

半導体層108の主な電流経路である半導体層108bを、半導体層108a及び半導体層10

8cで挟持することにより、半導体層108bの界面及び界面近傍のトラップ準位を少なくすることができる。これにより、オン電流が大きく、かつ信頼性の高いトランジスタとすることができる。したがって、高速動作と高い信頼性が両立した半導体装置とすることができる。

[0341]

第1の金属酸化物の組成は、第2の金属酸化物の組成と異なることが好ましい。第3の金属酸化物の組成は、第2の金属酸化物の組成と異なることが好ましい。金属酸化物の組成を異ならせることで、バンドギャップを調整することができる。具体的には、第1の金属酸化物における元素Mの含有率、及び第3の金属酸化物における元素Mの含有率はそれぞれ、第2の金属酸化物における元素Mの含有率より高いことが好ましい。これにより、第1の金属酸化物のバンドギャップ、及び第3の金属酸化物のバンドギャップをそれぞれ、第2の金属酸化物のバンドギャップより大きくすることができる。

[0342]

第2の金属酸化物におけるインジウムの含有率は、第1の金属酸化物におけるインジウムの含有率、及び第3の金属酸化物におけるインジウムの含有率のそれぞれより高いことが好ましい。これにより、オン電流が大きいトランジスタとすることができる。

[0343]

例えば、第1の金属酸化物及び第2の金属酸化物を $In-M-Zn$ 酸化物とする場合、第1の金属酸化物は $In:M:Zn=1:1:1$  [原子数比] またはその近傍の組成、第2の金属酸化物は $In:M:Zn=40:1:10$  [原子数比] またはその近傍の組成とすることができる。または、第1の金属酸化物は $In:M:Zn=1:1:1$  [原子数比] またはその近傍の組成、第2の金属酸化物は $In:M:Zn=10:1:10$  [原子数比] またはその近傍の組成とすることができる。または、第1の金属酸化物は $In:M:Zn=1:1:1$  [原子数比] またはその近傍の組成、第2の金属酸化物は $In:M:Zn=10:1:40$  [原子数比] またはその近傍の組成とすることができる。元素Mとして、ガリウム、アルミニウム、及びスズの一または複数を用いることが特に好ましい。なお、第1の金属酸化物における元素M、第2の金属酸化物における元素M、及び第3の金属酸化物における元素Mは互いに同じであってもよく、一部または全てが異なってもよい。また、第1の金属酸化物、第2の金属酸化物、及び第3の金属酸化物の一以上が複数の元素Mを有する場合、当該元素Mの各元素が他の金属酸化物が有する元素Mと同じであってもよく、一部または全てが異なってもよい。

[0344]

より具体的には、第1の金属酸化物は $In:Ga:Zn=1:1:1$  [原子数比] またはその近傍の組成、第2の金属酸化物は $In:Sn:Zn=40:1:10$  [原子数比] またはその近傍の組成、第3の金属酸化物は $In:Ga:Zn=1:1:1$  [原子数比] またはその近傍の組成を好適に用いることができる。または、第1の金属酸化物は $In:Ga:Zn=1:1:1$  [原子数比] またはその近傍の組成、第2の金属酸化物は $In:Sn:Zn=10:1:10$  [原子数比] またはその近傍の組成、第3の金属酸化物は $In:Ga:Zn=1:1:1$  [原子数比] またはその近傍の組成を好適に用いることができる。または、第1の金属酸化物は $In:Ga:Zn=1:1:1$  [原子数比] またはその近傍の組成、第2の金属酸化物は $In:Sn:Zn=10:1:40$  [原子数比] またはその近傍の組成、第3の金属酸化物は $In:Ga:Zn=1:1:1$  [原子数比] またはその近傍の組成を好適に用いることができる。

[0345]

第2の金属酸化物が元素Mを含まない構成とすることができる。例えば、第2の金属酸化物を  $I_n-Z_n$  酸化物とし、第1の金属酸化物及び第3の金属酸化物を  $I_n-M-Z_n$  酸化物とすることができる。具体的には、第2の金属酸化物を  $I_n-Z_n$  酸化物とし、第1の金属酸化物及び第3の金属酸化物を  $I_n-M-Z_n$  酸化物とすることができる。より具体的には、第1の金属酸化物は  $I_n:Ga:Z_n=1:1:1$  [原子数比] またはその近傍の組成、第2の金属酸化物は  $I_n:Z_n=4:1$  [原子数比] またはその近傍の組成、第3の金属酸化物は  $I_n:Ga:Z_n=1:1:1$  [原子数比] またはその近傍の組成を好適に用いることができる。または、第1の金属酸化物は  $I_n:Ga:Z_n=1:1:1$  [原子数比] またはその近傍の組成、第2の金属酸化物は  $I_n:Z_n=1:1$  [原子数比] またはその近傍の組成、第3の金属酸化物は  $I_n:Ga:Z_n=1:1:1$  [原子数比] またはその近傍の組成を好適に用いることができる。または、第1の金属酸化物は  $I_n:Ga:Z_n=1:1:1$  [原子数比] またはその近傍の組成、第2の金属酸化物は  $I_n:Z_n=1:4$  [原子数比] またはその近傍の組成、第3の金属酸化物は  $I_n:Ga:Z_n=1:1:1$  [原子数比] またはその近傍の組成を好適に用いることができる。

[0346]

絶縁層110の側面及びその近傍の拡大図を、図18に示す。図18では、半導体層108aの厚さ  $T_{108a}$ 、半導体層108bの厚さ  $T_{108b}$ 、及び半導体層108cの厚さ  $T_{108c}$  をそれぞれ実線の両矢印で示している。ここでは、断面視における絶縁層110と絶縁層106の最短距離を半導体層108の厚さとしている。具体的には、絶縁層110の上面の高さと下面の高さの中間点の位置における半導体層108の各層の厚さを示している。

[0347]

主な電流経路である半導体層108bの厚さ  $T_{108b}$  を厚くすることにより、オン電流の大きいトランジスタとすることができる。しかしながら、厚さ  $T_{108b}$  が厚すぎる場合、半導体層108b中の酸素欠損 ( $V_o$ ) 及び  $V_oH$  の量が、絶縁層110から供給される酸素によって修復される酸素欠損 ( $V_o$ ) 及び  $V_oH$  の量よりも多くなる恐れがある。厚さ  $T_{108b}$  は、1nm以上50nm以下が好ましく、さらには3nm以上30nm以下が好ましく、さらには3nm以上20nm以下が好ましく、さらには5nm以上20nm以下が好ましく、さらには5nm以上15nm以下が好ましい。

[0348]

半導体層108cの厚さ  $T_{108c}$  は、半導体層108aの厚さ  $T_{108a}$  より厚いことが好ましい。厚さ  $T_{108c}$  を厚くすることにより、絶縁層106と半導体層108の界面及びその近傍に形成されうるトラップ準位と半導体層108bを遠ざけることができる。また、絶縁層106の形成の際に半導体層108bにダメージが加わることを抑制することができる。厚さ  $T_{108c}$  が厚すぎると、ゲート電極として機能する導電層104と、半導体層108bとの距離が長くなり、オン電流が小さくなってしまう場合がある。厚さ  $T_{108c}$  は、1nm以上30nm以下が好ましく、さらには1nm以上20nm以下が好ましく、さらには1nm以上10nm以下が好ましく、さらには2nm以上10nm以下が好ましい。

[0349]

絶縁層110に含まれる酸素は、半導体層108aを介して、半導体層108bに供給される。したがって、半導体層108aは酸素が透過しやすいことが好ましい。厚さ  $T_{108a}$  を厚さ  $T_{108c}$  より薄くすることにより、絶縁層110に含まれる酸素を、効率的に半導体層108bに供給することができる。これにより、主な電流経路である半導体層108b中の酸素欠損 ( $V_o$ ) 及び  $V_oH$  を

低減することができる。厚さT108aが薄すぎると、絶縁層110と半導体層108の界面及び界面近傍のトラップ準位と、主な電流経路である半導体層108bとの距離が短くなり、オン電流が小さくなってしまう場合がある。また、信頼性が悪化してしまう場合がある。厚さT108aは、0.1nm以上10nm以下が好ましく、さらには0.3nm以上5nm以下が好ましく、さらには0.5nm以上5nm以下が好ましく、さらには0.5nm以上3nm以下が好ましい。

[0350]

半導体層108a、半導体層108b及び半導体層108cはそれぞれ、結晶性を有するとより好ましい。半導体層108aが結晶性を有することにより、その上に形成される半導体層108bの結晶性を高めることができる場合がある。同様に、半導体層108bが結晶性を有することにより、その上に形成される半導体層108cの結晶性を高めることができる場合がある。

[0351]

第1の金属酸化物のバンドギャップと第3の金属酸化物のバンドギャップが異なる構成とすることができる。

[0352]

第3の金属酸化物のバンドギャップは、第1の金属酸化物のバンドギャップより大きいことがより好ましい。ゲート電極として機能する導電層104側に位置する半導体層108cにバンドギャップが大きい材料を用いることにより、半導体層108c中、及び半導体層108cとゲート絶縁層（ここでは、絶縁層106）の界面にキャリアが生成及び誘起されることが抑制されるため、信頼性の高いトランジスタとすることができる。例えば、トランジスタに入射した光によって半導体層108c中及びその界面にキャリアが生成及び誘起されることが抑制されるため、光に対するトランジスタの電気特性の変動を抑制することができる。

[0353]

半導体層108aは、ソース電極及びドレイン電極として機能する導電層112a及び導電層112bと接する領域を有する。半導体層108aが有する第1の金属酸化物のバンドギャップを第3の金属酸化物のバンドギャップより小さくすることにより、半導体層108aと導電層112aとの接触抵抗、及び半導体層108aと導電層112bとの接触抵抗をそれぞれ小さくすることができる。したがって、オン電流の大きいトランジスタとすることができる。

[0354]

第1の金属酸化物のバンドギャップと第3の金属酸化物のバンドギャップの差は、0.1eV以上が好ましく、さらには0.2eV以上が好ましく、さらには0.3eV以上が好ましい。第3の金属酸化物の伝導帯下端は、第1の金属酸化物の伝導帯下端より真空準位に近いことが好ましい。言い換えると、第3の金属酸化物の電子親和力は、第1の金属酸化物の電子親和力より小さいことが好ましい。

[0355]

第3の金属酸化物における元素Mの含有率は、第1の金属酸化物における元素Mの含有率より高いことが好ましい。これにより、第3の金属酸化物のバンドギャップを、第1の金属酸化物のバンドギャップより大きくすることができる。

[0356]

第1の金属酸化物、第2の金属酸化物及び第3の金属酸化物をIn-M-Zn酸化物とする場合、例えば、第1の金属酸化物はIn:M:Zn=1:1:1 [原子数比] またはその近傍の組成、第2

の金属酸化物は  $I_n : M : Z_n = 40 : 1 : 10$  [原子数比] またはその近傍の組成、第3の金属酸化物は  $I_n : M : Z_n = 1 : 3 : 4$  [原子数比] またはその近傍の組成とすることができる。または、第1の金属酸化物は  $I_n : M : Z_n = 1 : 1 : 1$  [原子数比] またはその近傍の組成、第2の金属酸化物は  $I_n : M : Z_n = 10 : 1 : 10$  [原子数比] またはその近傍の組成、第3の金属酸化物は  $I_n : M : Z_n = 1 : 3 : 4$  [原子数比] またはその近傍の組成とすることができる。

[0357]

より具体的には、第1の金属酸化物は  $I_n : Ga : Z_n = 1 : 1 : 1$  [原子数比] またはその近傍の組成、第2の金属酸化物は  $I_n : Sn : Z_n = 40 : 1 : 10$  [原子数比] またはその近傍の組成、第3の金属酸化物は  $I_n : Ga : Z_n = 1 : 3 : 4$  [原子数比] またはその近傍の組成を好適に用いることができる。または、第1の金属酸化物は  $I_n : Ga : Z_n = 1 : 1 : 1$  [原子数比] またはその近傍の組成、第2の金属酸化物は  $I_n : Sn : Z_n = 10 : 1 : 10$  [原子数比] またはその近傍の組成、第3の金属酸化物は  $I_n : Ga : Z_n = 1 : 3 : 4$  [原子数比] またはその近傍の組成を好適に用いることができる。

[0358]

第2の金属酸化物が元素Mを含まない構成とすることができる。例えば、第2の金属酸化物を  $I_n - Z_n$  酸化物とし、第1の金属酸化物及び第3の金属酸化物を  $I_n - M - Z_n$  酸化物とすることができる。具体的には、第1の金属酸化物は  $I_n : Ga : Z_n = 1 : 1 : 1$  [原子数比] またはその近傍の組成、第2の金属酸化物は  $I_n : Z_n = 4 : 1$  [原子数比] またはその近傍の組成、第3の金属酸化物は  $I_n : Ga : Z_n = 1 : 3 : 4$  [原子数比] またはその近傍の組成を好適に用いることができる。または、第1の金属酸化物は  $I_n : Ga : Z_n = 1 : 1 : 1$  [原子数比] またはその近傍の組成、第2の金属酸化物は  $I_n : Z_n = 1 : 1$  [原子数比] またはその近傍の組成、第3の金属酸化物は  $I_n : Ga : Z_n = 1 : 3 : 4$  [原子数比] またはその近傍の組成を好適に用いることができる。

[0359]

図17A等では、半導体層108が半導体層108a、半導体層108b及び半導体層108cの3層構造を有する例を示しているが、本発明の一態様はこれに限られない。例えば、半導体層108a及び半導体層108cの一方または双方を有さない構成とすることができる。具体的には、図19Aに示すように、半導体層108が半導体層108aと半導体層108bの2層構造を有する構成とすることができる。または、図19Bに示すように、半導体層108が半導体層108bと半導体層108cの2層構造を有する構成とすることができる。または、半導体層108が4層以上の積層構造を有する構成とすることもできる。

[0360]

なお、構成例1-4で示した半導体層108の構成は、他の構成例にも適用できる。

[0361]

[構成例1-5]

本発明の一態様である半導体装置10Fの上面図を、図20Aに示す。図20Aに示す一点鎖線A1-A2における切断面の断面図を図20Bに示し、一点鎖線B1-B2における切断面の断面図を図20Cに示す。

[0362]

半導体装置10Fは、トランジスタ100Dと、絶縁層110と、を有する。トランジスタ100Dは、導電層103及び絶縁層107を有する点で、図1B等に示すトランジスタ100と主に異なる。

る。

[0363]

トランジスタ100Dは、導電層112aと絶縁層110との間に、導電層103及び絶縁層107を有する。

[0364]

絶縁層107は、導電層112a上に位置する。絶縁層107は、導電層112aの上面及び側面を覆うように設けられる。

[0365]

導電層103は、絶縁層107上に位置する。導電層112aと導電層103とは、絶縁層107によって互いに電氣的に絶縁される。導電層103には、導電層112aと重なる領域に絶縁層107に達する開口部148が設けられる。

[0366]

絶縁層110は、絶縁層107及び導電層103上に設けられる。絶縁層110は、導電層103の上面及び側面、並びに絶縁層107の上面を覆うように設けられる。絶縁層110及び絶縁層107には、導電層112aに達する開口部141が設けられる。

[0367]

絶縁層110aは、絶縁層107及び導電層103上に位置する。絶縁層110aは、導電層103の上面及び側面を覆うように設けられる。また、絶縁層110aは、開口部148の一部を覆うように設けられる。絶縁層110aは、開口部148において、絶縁層107と接する。

[0368]

開口部148の上面形状は特に限定されない。開口部148の上面形状は、開口部141及び開口部143に適用できる形状とすることができる。図20Aに示すように、開口部141、開口部143及び開口部148の上面形状はそれぞれ、円形であることが好ましい。開口部の上面形状を円形とすることにより、開口部を形成する際の加工精度を高めることができ、微細なサイズの開口部を形成することができる。

[0369]

本明細書等において、開口部148の上面形状とは、導電層103の開口部148側の上面端部の形状または下面端部の形状を指す。

[0370]

開口部141と開口部148の上面形状が円形であるとき、開口部141と開口部148は同心円状であることが好ましい。これにより、断面視における半導体層108と導電層103との間の最短距離を開口部141の左右で等しくできる。また、開口部141と開口部148は同心円状とならない場合もある。

[0371]

トランジスタ100Dにおいて、半導体層108には、絶縁層106を介して導電層104と重なり、かつ、絶縁層110の一部（特に、絶縁層110a、及び絶縁層110b）を介して導電層103と重なる領域が存在する。言い換えると、半導体層108には、絶縁層106を介して導電層104と、絶縁層110の一部（特に、絶縁層110a、及び絶縁層110b）を介して導電層103と、に挟まれる領域が存在する。

[0372]

導電層104は、トランジスタ100Dのゲート電極（第1のゲート電極ともいえる）として機能する。絶縁層106の一部は、ゲート絶縁層（第1のゲート絶縁層ともいえる）として機能する。また、導電層103は、バックゲート電極（第2のゲート電極ともいえる）として機能する。絶縁層110の一部は、バックゲート絶縁層（第2のゲート絶縁層ともいえる）として機能する。導電層103は、導電層112a、導電層112b及び導電層104に用いることができる材料を用いることができる。

[0373]

トランジスタ100Dにバックゲート電極を設けることで、半導体層108のバックゲート電極側（バックチャネル側ともいう）の電位が固定され、 $I_d-V_d$ 特性における飽和性を高めることができる。

[0374]

なお、本明細書等において、トランジスタの $I_d-V_d$ 特性における、飽和領域の電流の変化が小さいことを、「飽和性が高い」と表現する場合がある。

[0375]

トランジスタ100Dは、バックゲート電極を有するため、半導体層108のバックチャネル側の電位を固定でき、しきい値電圧がシフトすることを抑制できる。ここで、トランジスタのしきい値電圧がシフトすると、カットオフ電流が大きくなってしまう場合がある。しきい値電圧がシフトすることを抑制することにより、カットオフ電流が小さいトランジスタとすることができる。これにより、消費電力の小さい半導体装置とすることができる。

[0376]

絶縁層107は、絶縁層110に用いることができる材料を用いることができる。導電層112a、及び導電層103と接する絶縁層107は、窒素を含む絶縁層を用いることが好ましい。絶縁層107は、絶縁層110aに用いることができる材料を好適に用いることができる。絶縁層107は、例えば、窒化シリコンを好適に用いることができる。なお、本実施の形態では絶縁層107を単層構造で示しているが、本発明の一態様はこれに限られない。絶縁層107を2層以上の積層構造とすることができる。

[0377]

導電層103が、導電層112aと電氣的に接続される構成とすることができる。例えば、絶縁層107の導電層112aと重なる領域に開口部を設け、当該開口部を覆うように導電層103を設けることにより、導電層103と導電層112aが接する構成とすることができる。ソース電極またはドレイン電極として機能する導電層112aと、バックゲート電極として機能する導電層103が電氣的に接続されることにより、ソース電極またはドレイン電極と、バックゲート電極を同電位にすることができる。例えば、導電層112aがソース電極として機能する場合、トランジスタ100Dのしきい値電圧がシフトすることを抑制できる。また、トランジスタ100Dの信頼性を高めることができる。なお、絶縁層107を設けず、導電層112aの上面に接して導電層103を形成することもできる。

[0378]

導電層103が、導電層112bと電氣的に接続される構成とすることができる。例えば、絶縁層110の導電層103と重なる領域に開口部を設け、当該開口部を覆うように導電層112bを設けることにより、導電層103と導電層112bが接する構成とすることができる。

[0379]

導電層103が、導電層104と電氣的に接続される構成とすることができる。例えば、絶縁層106及び絶縁層110の導電層103と重なる領域に開口部を設け、当該開口部を覆うように導電層104を設けることにより、導電層103と導電層104が接する構成とすることができる。ゲート電極として機能する導電層104と、バックゲート電極として機能する導電層103が電氣的に接続されることにより、バックゲート電極とゲート電極を同電位にすることができ、トランジスタ100Dのオン電流を大きくすることができる。

[0380]

導電層103の厚さは、絶縁層110の厚さより厚くすることができる。これにより、半導体層108におけるソース領域とドレイン領域の間の広い範囲で、半導体層108のバックチャネル側の電位を固定することができる。

[0381]

トランジスタ100Dは、導電層103、絶縁層110、半導体層108、絶縁層106、及び導電層104が、間に他の層を含まず、一方向にこの順で重なっている領域を有する。当該方向として、チャネル長方向に垂直な方向が挙げられる。当該領域を広くすることで、半導体層108のバックチャネル側の電位をより確実に制御することができる。

[0382]

導電層103の厚さは、半導体層108における開口部141の内側で導電層112aと接する部分の厚さと、当該部分に接する絶縁層106の厚さとの和よりも大きくすることができる。

[0383]

なお、構成例1-5で示した導電層103及び絶縁層107の構成は、他の構成例にも適用できる。

[0384]

<構成例2>

本発明の一態様の半導体装置の回路図を、図21A乃至図21Iに示す。図21乃至図25に、本発明の一態様の半導体装置の上面図及び断面図を示す。以下では、本発明の一態様の半導体装置が有する縦チャネル型トランジスタとして、主にトランジスタ100を例に挙げて説明する。本発明の一態様の半導体装置はこれに限られず、前述のトランジスタ100A乃至トランジスタ100Dのいずれか一または複数を有する構成とすることができる。

[0385]

本発明の一態様の半導体装置は、トランジスタを少なくとも2つ有し、1つのトランジスタのゲート、ソースまたはドレインのいずれかが、他の1つのトランジスタのゲート、ソースまたはドレインのいずれかと電氣的に接続する構成を有する。

[0386]

例えば、図21Aに示す半導体装置は、トランジスタ100及びトランジスタ200を有する。トランジスタ200のソース及びドレインの一方は、トランジスタ100のゲートと電氣的に接続される。

[0387]

なお、図21A乃至図21Cでは、トランジスタ100及びトランジスタ200をnチャネル型で示しているが、本発明の一態様はこれに限られない。トランジスタ100及びトランジスタ200の一方または双方をpチャネル型とすることもできる。

[0388]

[構成例2-1]

本発明の一態様である半導体装置20の回路図を、図21Bに示す。半導体装置20の上面図を、図22Aに示す。図22Aに示す一点鎖線A1-A2における切断面の断面図を図22Bに示し、一点鎖線B1-B2及び一点鎖線B3-B4における切断面の断面図を図22Cに示す。

[0389]

半導体装置20は、トランジスタ100及びトランジスタ200を有する。トランジスタ200のソース及びドレインの他方は、トランジスタ100のソース及びドレインの他方と電氣的に接続される。

[0390]

トランジスタ100及びトランジスタ200はそれぞれ、基板102上に設けられる。

[0391]

トランジスタ100は前述の記載を参照できるため、詳細な説明は省略する。

[0392]

トランジスタ200は、導電層112b、導電層112c、半導体層208、絶縁層106及び導電層204を有する。トランジスタ200は、トランジスタ100と同様の構成とすることができる。

[0393]

導電層112cは、トランジスタ200のソース電極及びドレイン電極の一方として機能する。導電層112bは、トランジスタ100のソース電極及びドレイン電極の他方として機能するとともに、トランジスタ200のソース電極及びドレイン電極の他方として機能する。トランジスタ100とトランジスタ200で導電層112bを共有することで、半導体装置の占有面積を縮小することができる。絶縁層106の一部は、トランジスタ200のゲート絶縁層として機能する。導電層204は、トランジスタ200のゲート電極として機能する。

[0394]

導電層112cは、導電層112aと同じ材料を用いることができる。導電層112cは、導電層112aと同じ工程で形成することができる。絶縁層110は、導電層112cに達する開口部241を有する。開口部241は、開口部141と同じ工程で形成できる。導電層112bは、開口部241と重なる領域に開口部243を有する。開口部243は、開口部143と同じ工程で形成できる。開口部241及び開口部243の上面形状は限定されないが、円形であることが好ましい。また、ここでは開口部241の上面形状と開口部243の上面形状が一致する構成を示しているが、本発明の一態様はこれに限られない。開口部241の上面形状と開口部243の上面形状が互いに一致しない構成とすることもできる。

[0395]

開口部141の幅と開口部241の幅を異ならせることもできる。開口部の幅を異ならせることにより、チャンネル幅が互いに異なる2つのトランジスタを作製することもできる。

[0396]

開口部241及び開口部243を覆うように、半導体層208が設けられる。半導体層208は、半導体層108と同じ工程で形成できる。半導体層208上に絶縁層106が設けられ絶縁層106上に導電層204が設けられる。導電層204は、導電層104と同じ工程で形成することができる。

[0397]

半導体層208は、領域208Da及び領域208Dbを有する。半導体層208の導電層112cの上面と接する領域のうち、導電層112cの上面と導電層204の下面との間に位置する領域に、領域208Daが形成され、導電層112bの上面と接する領域に、領域208Dbが形成される。領域208Da及び領域208Dbは、領域108Da及び領域108Dbと同じ工程で形成することができる。領域208Da及び領域208Dbは、領域108Da及び領域108Dbが有する不純物元素と同じ種類の不純物元素を有する。半導体層208において、トランジスタ200のチャネル形成領域は、領域208Da及び領域208Dbの間に位置する。トランジスタ200のチャネル形成領域、領域208Da及び領域208Dbについては、トランジスタ100のチャネル形成領域、領域108Da及び領域108Dbに係る記載を参照できる。

[0398]

なお、図22A等は、トランジスタ100とトランジスタ200で半導体層が半導体層108と半導体層208に分離した構成としているが、本発明の一態様はこれに限られない。トランジスタ100とトランジスタ200で半導体層を共有する構成とすることができる。

[0399]

[構成例2-2]

本発明の一態様である半導体装置20Aの回路図を、図21Cに示す。半導体装置20Aの上面図を、図23Aに示す。図23Aに示す一点鎖線A1-A2における切断面の断面図を図23Bに示し、一点鎖線B1-B2及び一点鎖線B3-B4における切断面の断面図を図23Cに示す。

[0400]

半導体装置20Aは、トランジスタ100及びトランジスタ200を有する。トランジスタ200のソース及びドレインの一方は、トランジスタ100のソース及びドレインの一方と電氣的に接続される。

[0401]

トランジスタ100及びトランジスタ200はそれぞれ、基板102上に設けられる。

[0402]

トランジスタ100は前述の記載を参照できるため、詳細な説明は省略する。

[0403]

トランジスタ200は、導電層112a、導電層112c、半導体層208、絶縁層106及び導電層204を有する。

[0404]

導電層112cは、トランジスタ200のソース電極及びドレイン電極の一方として機能する。導電層112aは、トランジスタ100のソース電極及びドレイン電極の一方として機能するとともに、トランジスタ200のソース電極及びドレイン電極の他方として機能する。トランジスタ100とトランジスタ200で導電層112aを共有することで、半導体装置の占有面積を縮小することができる。

[0405]

導電層112cは、導電層112bと同じ材料を用いることができる。導電層112cは、導電層112bと同じ工程で形成することができる。

[0406]

[構成例 2-3]

本発明の一態様である半導体装置 20B の回路図を、図 21D に示す。半導体装置 20B の上面図を、図 24A に示す。図 24A に示す一点鎖線 A1-A2 における切断面の断面図を図 24B に示す。

[0407]

半導体装置 20B は、トランジスタ 100 及びトランジスタ 250 を有する。トランジスタ 250 のソース及びドレインの一方は、トランジスタ 100 のソース及びドレインの一方と電氣的に接続される。

[0408]

トランジスタ 100 及びトランジスタ 250 はそれぞれ、基板 102 上に設けられる。

[0409]

半導体装置 20B は、基板 102 上に導電層 259 を有し、基板 102 及び導電層 259 の上に絶縁層 252 を有し、絶縁層 252 上に半導体層 253 を有する。また、絶縁層 252 及び半導体層 253 の上に絶縁層 254 を有し、絶縁層 254 上に導電層 255 を有する。半導体層 253 と導電層 255 は、互いに重なる領域を有する。導電層 259 は、トランジスタ 250 のバックゲート電極として機能し、絶縁層 252 はバックゲート絶縁層として機能する。絶縁層 254 はゲート絶縁層として機能し、導電層 255 はゲート電極として機能する。

[0410]

絶縁層 254 及び導電層 255 の上に、絶縁層 256 が設けられる。また、半導体層 253 の一部と重なる領域において、絶縁層 254 及び絶縁層 256 に、開口部 257a が設けられる。また、半導体層 253 の他の一部と重なる領域において、絶縁層 254 及び絶縁層 256 に開口部 257b が設けられる。

[0411]

絶縁層 256 及び開口部 257a の上に、導電層 258a が設けられ、絶縁層 256 及び開口部 257b の上に、導電層 258b が設けられる。導電層 258a は、開口部 257a において半導体層 253 と電氣的に接続する。また、導電層 258b は、開口部 257b において半導体層 253 と電氣的に接続する。

[0412]

半導体層 253 において、導電層 255 と重なる領域がチャネル形成領域として機能する。半導体層 253 は、チャネル形成領域を挟む一対の領域 253D を有する。一対の領域 253D の一方はソース領域及びドレイン領域の一方として機能し、導電層 258a と電氣的に接続される。一対の領域 253D の他方はソース領域及びドレイン領域の他方として機能し、導電層 258b と電氣的に接続される。

[0413]

絶縁層 256、導電層 258a 及び導電層 258b の上に、絶縁層 110 が設けられ、絶縁層 110 上に導電層 112b が設けられる。

[0414]

導電層 112b 及び絶縁層 110 は、導電層 258a の一部と重なる領域に開口部 146 を有する (図 24A)。開口部 146 を覆うように、半導体層 108 が設けられる。

[0415]

絶縁層 110、導電層 112b 及び半導体層 108 の上に、絶縁層 106 が設けられ、絶縁層 10

6上に、導電層104が設けられる。また、絶縁層106及び導電層104の上に、絶縁層195が設けられる。

[0416]

導電層259は、チャンネル形成領域と重なり、かつ、チャンネル形成領域の端部を越えて延在することが好ましい。すなわち、導電層259は、チャンネル形成領域よりも大きいことが好ましい。また、導電層259は、半導体層253の端部を越えて延在することが好ましい。すなわち、導電層259は、半導体層253よりも大きいことが好ましい。

[0417]

ゲート電極とバックゲート電極は、半導体層のチャンネル形成領域を挟むように配置される。また、バックゲート電極の電位を変化させることで、トランジスタのしきい値電圧を変化させることができる。バックゲート電極の電位は、接地電位または任意の電位とすることができる。

[0418]

バックゲート電極は、ゲート電極、ソース電極、ドレイン電極などと同様の材料及び方法により形成することができる。また、ゲート電極とバックゲート電極は導電層であるため、トランジスタの外部で生じる電場が、チャンネルが形成される半導体層に作用しないようにする機能（特に静電気に対する電界遮蔽機能）を有する。すなわち、静電気などの外部の電場の影響によりトランジスタの電気的な特性が変動することを防止できる。また、バックゲート電極を設けることで、BT（Bias Temperature）ストレス試験前後におけるトランジスタのしきい値電圧の変化量を低減できる。バックゲート電極を設けることで、トランジスタの特性ばらつきが低減され、半導体装置の信頼性を向上できる。

[0419]

図21Eに示すように、トランジスタ250は、バックゲートとゲートが電氣的に接続される構成とすることができる。また、図21Fに示すように、トランジスタ250は、バックゲートと、ソースまたはドレインが電氣的に接続される構成とすることができる。また、図21Gに示すように、トランジスタ250は、バックゲートを有さない構成とすることができる。

[0420]

図21D乃至図21Hでは、トランジスタ100をnチャンネル型で示し、トランジスタ250をpチャンネル型で示しているが、本発明の一態様はこれに限られない。トランジスタ100及びトランジスタ250の双方をnチャンネル型、またはpチャンネル型とすることができる。また、トランジスタ100をpチャンネル型とし、トランジスタ250をnチャンネル型とすることもできる。

[0421]

トランジスタ250には、トランジスタ100と同様に、OSトランジスタを適用することもできる。

[0422]

ここで、半導体層108と半導体層253には、同じ材料を用いることができる。または、これらに互いに異なる材料を用いることもできる。半導体層108と半導体層253の構成については、半導体装置20における半導体層108と半導体層208の記載も参照できる。

[0423]

トランジスタ250には、チャンネル形成領域にシリコンを用いたトランジスタ（以下、Siトランジスタとも記す）を適用することもできる。例えば、半導体層にLTFSを有するトランジスタ（以

下、LTPSトランジスタとも記す)は、電界効果移動度が高く、周波数特性が良好である。

[0424]

トランジスタ100は、導電層112aに代わり、導電層258aを有する点以外は、前述と同様の構成である(図1参照)。

[0425]

導電層258aは、トランジスタ100のソース電極及びドレイン電極の一方として機能するとともに、トランジスタ250のソース電極及びドレイン電極の一方として機能する。トランジスタ100とトランジスタ250とで導電層258aを共有することで、半導体装置の占有面積を縮小することができる。

[0426]

前述の通り、トランジスタ100は、縦チャンネル型トランジスタである。一方、トランジスタ250は、半導体層を流れる電流は横方向、すなわち、基板102表面と平行な方向または略平行な方向に沿って流れる。このようなトランジスタを、横チャンネル型トランジスタ、または、横チャンネル型トランジスタとすることができる。

[0427]

このように、本発明の一態様の半導体装置は、縦チャンネル型トランジスタだけでなく、横チャンネル型トランジスタを有する構成とすることができる。

[0428]

なお、トランジスタ100を、開口部257aと重なる領域に形成することもできる。具体的には、開口部257aと重なる領域に開口部146を設け、開口部257aにおいて導電層258aと半導体層108が接する構成とすることができる。さらに、導電層258aを設けず、開口部257aにおいて領域253Dと半導体層108が接する構成とすることもできる。このような構成とすることにより、さらに占有面積の小さい半導体装置とすることができる。

[0429]

[構成例2-4]

本発明の一態様である半導体装置20Cの回路図を、図21Hに示す。半導体装置20Cの上面図を、図25Aに示す。図25Aに示す一点鎖線A1-A2における切断面の断面図を図25Bに示す。

[0430]

半導体装置20Cは、トランジスタ100及びトランジスタ250を有する。トランジスタ250のゲートは、トランジスタ100のソース及びドレインの一方と電氣的に接続される。

[0431]

半導体装置20Cは、開口部146が、トランジスタ250のゲート電極として機能する導電層255と重ねて設けられる点が、半導体装置20Bと主に異なる。よって、半導体装置20Bでは、トランジスタ100が、トランジスタ250のゲート電極上に重ねて設けられる。

[0432]

図25A及び図25Bでは、開口部146がチャンネル形成領域と重ねて設けられているが、これに限定されない。開口部146は、チャンネル形成領域と重ならず、かつ、導電層255と重ねて設けることができる。半導体装置20Cにおいて、導電層255は、トランジスタ250のゲート電極として機能するとともに、トランジスタ100のソース電極及びドレイン電極の一方として機能する。

[0433]

トランジスタ100とトランジスタ250を重ねて設けることで、より占有面積が低減された半導体装置を実現できる。

[0434]

半導体装置20Cは、開口部257a、開口部257b、導電層258a、及び導電層258bの構成が、半導体装置20Bと異なる。

[0435]

開口部257a及び開口部257bは、半導体層253の領域253Dと重なる領域に、絶縁層254及び絶縁層110それぞれの一部を選択的に除去して形成される。導電層258a及び導電層258bは絶縁層110上に設けられ、開口部257a及び開口部257bを介して、領域253Dと電氣的に接続される。

[0436]

半導体装置20Cにおいて、導電層258a及び導電層258bは、導電層112bと同じ工程で形成することができる。導電層258a及び導電層258bと、導電層112bとを別の工程で形成する必要がないため、半導体装置の作製工程が短縮され、半導体装置の生産性を高めることができる。

[0437]

本発明の一態様の半導体装置は、トランジスタを少なくとも1つと、容量素子を少なくとも1つ有し、トランジスタのソースまたはドレインが、容量素子の一对の電極の一方と電氣的に接続する構成を有する。図21Iでは、トランジスタ100のソースまたはドレインが、容量素子190の一方の電極と電氣的に接続されている例を示す。

[0438]

本発明の一態様のトランジスタは、縦型トランジスタの一種であり、ソース電極、半導体層、及びドレイン電極を重ねて設けることができるため、プレナー型のトランジスタと比較して、占有面積を大幅に縮小できる。また、プレナー型のトランジスタをpチャネル型のSiトランジスタとし、縦型トランジスタをnチャネル型のOSトランジスタとすることで、CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)回路を構成することができる。また、当該構成とし、かつ、プレナー型のトランジスタと、縦型トランジスタとを、重ねて設けることで、CMOS回路の占有面積を縮小させることができる。

[0439]

[構成例2-5]

本発明の一態様である半導体装置30の等価回路図を、図26Aに示す。半導体装置30は、トランジスタ100<sub>1</sub>乃至トランジスタ100<sub>p</sub> (pは2以上の整数)を有する。トランジスタ100<sub>1</sub>乃至トランジスタ100<sub>p</sub>は並列接続され、半導体装置30は1つのトランジスタとみなすことができる。

[0440]

トランジスタ100<sub>1</sub>乃至トランジスタ100<sub>p</sub>のゲート電極は、互いに電氣的に接続される。トランジスタ100<sub>1</sub>乃至トランジスタ100<sub>p</sub>のソース電極は、互いに電氣的に接続される。トランジスタ100<sub>1</sub>乃至トランジスタ100<sub>p</sub>のドレイン電極は、互いに電氣的に接続される。

[0441]

なお、図26Aは、トランジスタ100<sub>1</sub>乃至トランジスタ100<sub>p</sub>をnチャネル型で示して

いるが、本発明の一態様はこれに限られない。トランジスタ100\_\_1乃至トランジスタ100\_\_pをpチャネル型とすることもできる。

[0442]

pが4の場合を例に挙げて、具体的に説明する。本発明の一態様である半導体装置30の等価回路図を、図26Bに示す。半導体装置30の上面図を、図26Cに示す。図26Cに示す一点鎖線A3-A4における切断面の断面図を図27に示す。半導体装置30の斜視図を、図28に示す。

[0443]

半導体装置30は、トランジスタ100\_\_1乃至トランジスタ100\_\_4を有する。トランジスタ100\_\_1乃至トランジスタ100\_\_4はそれぞれ、前述のトランジスタ100の構成を適用することができる。なお、ここではトランジスタ100を例に挙げて説明するが、本発明の一態様はこれに限られない。トランジスタ100\_\_1乃至トランジスタ100\_\_4に、トランジスタ100A乃至トランジスタ100Dのいずれかを適用することができる。

[0444]

図26C等では、トランジスタ100\_\_1乃至トランジスタ100\_\_4を2行2列に配置する構成を示しているが、トランジスタの配置は特に限定されない。例えば、トランジスタ100\_\_1乃至トランジスタ100\_\_4を1行4列に配置することもできる。

[0445]

トランジスタ100\_\_1乃至トランジスタ100\_\_4はそれぞれ、導電層104と、絶縁層106と、半導体層108と、導電層112aと、導電層112bと、を有する。導電層104は、トランジスタ100\_\_1乃至トランジスタ100\_\_4のゲート電極として機能する。絶縁層106の一部は、トランジスタ100\_\_1乃至トランジスタ100\_\_4のゲート絶縁層として機能する。導電層112aは、トランジスタ100\_\_1乃至トランジスタ100\_\_4のソース電極及びドレイン電極の一方として機能し、導電層112bは他方として機能する。

[0446]

図29Aは、導電層112aを抜粋して示す斜視図である。

[0447]

図29Bは、導電層112a、導電層112b、開口部141\_\_1乃至開口部141\_\_4、及び開口部143\_\_1乃至開口部143\_\_4を抜粋して示す斜視図である。なお、絶縁層110に設けられる開口部141\_\_1乃至開口部141\_\_4を破線で示している。開口部141\_\_1乃至開口部141\_\_4、開口部143\_\_1乃至開口部143\_\_4については、開口部141及び開口部143の記載を参照できるため、詳細な説明は省略する。

[0448]

半導体装置30を1つのトランジスタとみなす場合、当該トランジスタのチャンネル幅は、トランジスタ100\_\_1乃至トランジスタ100\_\_4のチャンネル幅の和となる。例えば、開口部141\_\_1乃至開口部141\_\_4の上面形状が円形の場合、開口部141\_\_1乃至開口部141\_\_4それぞれの幅を幅D141とすると、半導体装置30はチャンネル幅が“ $D141 \times \pi \times 4$ ”のトランジスタとみなすことができる（図3A及び図3B参照）。p個のトランジスタで構成される半導体装置30は、チャンネル幅が“ $D141 \times \pi \times p$ ”のトランジスタとみなすことができる。なお、半導体装置30は、チャンネル長L100のトランジスタとみなすことができる（図3B参照）。複数のトランジスタを並列接続させることにより、チャンネル幅が大きくなり、オン電流を大きくすることができる。また、並

列接続させるトランジスタの数 (p) を調整することで、チャンネル幅を異ならせることができる。所望のオン電流となるように並列接続させるトランジスタの数 (p) を決めればよい。

[0449]

図29Cは、導電層112a及び半導体層108を抜粋して示す斜視図である。半導体層108は、開口部141\_1乃至開口部141\_4、開口部143\_1乃至開口部143\_4を覆うように設けられる。なお、図29C等は、トランジスタ100\_1乃至トランジスタ100\_4が半導体層108を共有する構成を示しているが、本発明の一態様はこれに限られない。トランジスタ100\_1乃至トランジスタ100\_4ごとに半導体層108が分離した構成とすることができる。

[0450]

図29Dは、導電層112a及び導電層104を抜粋して示す斜視図である。導電層104は、開口部141\_1乃至開口部141\_4、及び開口部143\_1乃至開口部143\_4を覆うように設けられる。

[0451]

なお、構成例2-5で示した半導体装置30の構成は、他の構成例にも適用できる。例えば、半導体装置30を、図21A乃至図21Iに示す半導体装置が有するトランジスタの一または複数に適用することができる。

[0452]

[構成例2-6]

本発明の一態様である半導体装置40の等価回路図を、図30Aに示す。半導体装置40は、トランジスタ100\_1乃至トランジスタ100\_q (qは2以上の整数) を有する。トランジスタ100\_1乃至トランジスタ100\_qは直列接続され、半導体装置40は1つのトランジスタとみなすことができる。

[0453]

なお、図30Aは、トランジスタ100\_1乃至トランジスタ100\_qをnチャンネル型で示しているが、本発明の一態様はこれに限られない。トランジスタ100\_1乃至トランジスタ100\_qをpチャンネル型とすることもできる。

[0454]

qが4の場合を例に挙げて、具体的に説明する。本発明の一態様である半導体装置40の等価回路図を、図30Bに示す。半導体装置40の上面図を、図30Cに示す。図30Cに示す一点鎖線A5-A6における切断面の断面図を、図31に示す。半導体装置40の斜視図を、図32に示す。

[0455]

半導体装置40は、トランジスタ100\_1乃至トランジスタ100\_4を有する。トランジスタ100\_1乃至トランジスタ100\_4はそれぞれ、前述のトランジスタ100の構成を適用することができる。なお、ここではトランジスタ100を例に挙げて説明するが、本発明の一態様はこれに限られない。トランジスタ100\_1乃至トランジスタ100\_4に、トランジスタ100A乃至トランジスタ100Dのいずれかを適用することができる。

[0456]

図30C等では、トランジスタ100\_1乃至トランジスタ100\_4を2行2列に配置する構成を示しているが、トランジスタの配置は特に限定されない。例えば、トランジスタ100\_1乃至トランジスタ100\_4を1行4列に配置することもできる。

[0457]

トランジスタ100\_\_1は、導電層104と、絶縁層106と、半導体層108\_\_1と、導電層112aと、導電層112bと、を有する。導電層112aは、トランジスタ100\_\_1のソース電極及びドレイン電極の一方として機能し、導電層112bは、他方として機能する。

[0458]

トランジスタ100\_\_2は、導電層104と、絶縁層106と、半導体層108\_\_2と、導電層112aと、導電層112cと、を有する。導電層112aは、トランジスタ100\_\_2のソース電極及びドレイン電極の一方として機能し、導電層112cは、他方として機能する。導電層112aは、トランジスタ100\_\_1とトランジスタ100\_\_2で共有される。

[0459]

トランジスタ100\_\_3は、導電層104と、絶縁層106と、半導体層108\_\_3と、導電層112cと、導電層112dと、を有する。導電層112cは、トランジスタ100\_\_3のソース電極及びドレイン電極の一方として機能し、導電層112dは、他方として機能する。導電層112cは、トランジスタ100\_\_2とトランジスタ100\_\_3で共有される。

[0460]

トランジスタ100\_\_4は、導電層104と、絶縁層106と、半導体層108\_\_4と、導電層112dと、導電層112eと、を有する。導電層112dは、トランジスタ100\_\_4のソース電極及びドレイン電極の一方として機能し、導電層112eは、他方として機能する。導電層112dは、トランジスタ100\_\_3とトランジスタ100\_\_4で共有される。

[0461]

図33Aは、導電層112a及び導電層112dを抜粋して示す斜視図である。導電層112a及び導電層112dは、同じ工程で形成できる。

[0462]

図33Bは、導電層112a、導電層112b、導電層112c、導電層112d、導電層112e、開口部141\_\_1乃至開口部141\_\_4、及び開口部143\_\_1乃至開口部143\_\_4を抜粋して示す斜視図である。導電層112a乃至導電層112eは、同じ工程で形成できる。導電層112bに開口部143\_\_1が設けられ、導電層112cに開口部143\_\_2及び開口部143\_\_3が設けられ、導電層112eに開口部143\_\_4が設けられる。

[0463]

図33Cは、導電層112a、導電層112d、及び半導体層108\_\_1乃至半導体層108\_\_4を抜粋して示す斜視図である。半導体層108\_\_1乃至半導体層108\_\_4は、同じ工程で形成できる。

[0464]

図33Dは、導電層112a、導電層112d及び導電層104を抜粋して示す斜視図である。導電層104は、トランジスタ100\_\_1乃至トランジスタ100\_\_4のゲート電極として機能する。

[0465]

トランジスタ100\_\_1のソース電極及びドレイン電極の一方は、トランジスタ100\_\_2のソース電極及びドレイン電極の一方と電氣的に接続される。トランジスタ100\_\_2のソース電極及びドレイン電極の他方は、トランジスタ100\_\_3のソース電極及びドレイン電極の一方と電氣的に接続される。トランジスタ100\_\_3のソース電極及びドレイン電極の他方は、トランジスタ10

0\_\_4のソース電極及びドレイン電極の一方と電氣的に接続される。

[0466]

半導体装置40を1つのトランジスタとみなす場合、当該トランジスタのチャンネル長は、トランジスタ100\_\_1乃至トランジスタ100\_\_4のチャンネル長の和となる。例えば、トランジスタ100\_\_1乃至トランジスタ100\_\_4のそれぞれのチャンネル長をチャンネル長L100とすると、半導体装置40はチャンネル長が“L100×4”のトランジスタとみなすことができる(図3B参照)。q個のトランジスタで構成される半導体装置40は、チャンネル長が“L100×q”のトランジスタとみなすことができる。なお、半導体装置40は、チャンネル幅W100のトランジスタとみなすことができる(図3A及び図3B参照)。複数のトランジスタを直列接続させることにより、チャンネル長が長くなり、飽和性を高めることができる。また、直列接続させるトランジスタの数(q)を調整することで、チャンネル長を異ならせることができる。所望の飽和性となるように直列接続させるトランジスタの数(q)を決めればよい。

[0467]

なお、構成例2-6で示した半導体装置40の構成は、他の構成例にも適用できる。例えば、半導体装置40を、図21A乃至図21Iに示す半導体装置が有するトランジスタの一または複数に適用することができる。

[0468]

半導体装置40を、半導体装置30が有する各トランジスタに適用することができる。つまり、並列接続されたトランジスタ群が、さらに直列接続(以下、直並列接続ともいう)された構成とすることができる。

[0469]

本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせることができる。また、本明細書において、1つの実施の形態の中に、複数の構成例が示される場合は、構成例を適宜組み合わせることが可能である。

[0470]

(実施の形態2)

本実施の形態では、本発明の一態様の半導体装置の作製方法について、図34A乃至図37を用いて説明する。なお、各要素の材料及び形成方法について、先に実施の形態1で説明した部分と同様の部分については説明を省略することができる。

[0471]

半導体装置を構成する薄膜(絶縁膜、半導体膜、及び、導電膜等)は、スパッタリング法、化学気相堆積(CVD:Chemical Vapor Deposition)法、真空蒸着法、パルスレーザー堆積(PLD:Pulsed Laser Deposition)法、ALD法等を用いて形成することができる。CVD法には、PECVD法、及び、熱CVD法などがある。また、熱CVD法のひとつに、有機金属化学気相堆積(MOCVD:Metal Organic CVD)法がある。

[0472]

半導体装置を構成する薄膜(絶縁膜、半導体膜、及び、導電膜等)は、スピコート、ディップ、スプレー塗布、インクジェット、ディスペンス、スクリーン印刷、オフセット印刷、ドクターナイフ法、スリットコート、ロールコート、カーテンコート、またはナイフコート等の湿式の成膜方法によ

り形成することができる。

[0473]

半導体装置を構成する薄膜を加工する際には、フォトリソグラフィ法等を用いることができる。または、ナノインプリント法、サンドブラスト法、リフトオフ法などにより薄膜を加工することができる。また、メタルマスクなどの遮蔽マスクを用いた成膜方法により、島状の薄膜を直接形成することができる。

[0474]

フォトリソグラフィ法として、代表的には以下の2つの方法がある。1つは、加工したい薄膜上にレジストマスクを形成して、エッチング等により当該薄膜を加工し、レジストマスクを除去する方法である。もう1つは、感光性を有する薄膜を成膜した後に、露光、現像を行って、当該薄膜を所望の形状に加工する方法である。

[0475]

フォトリソグラフィ法において、露光に用いる光は、例えばi線（波長365nm）、g線（波長436nm）、h線（波長405nm）、またはこれらを混合させた光を用いることができる。そのほか、紫外線、KrFレーザ光、またはArFレーザ光等を用いることもできる。また、液浸露光技術により露光を行うこともできる。また、露光に用いる光として、極端紫外（EUV: Extreme Ultraviolet）光、またはX線を用いることができる。また、露光に用いる光に換えて、電子ビームを用いることもできる。極端紫外光、X線または電子ビームを用いると、極めて微細な加工が可能となるため好ましい。なお、電子ビームなどのビームを走査することにより露光を行う場合には、フォトマスクは不要である。

[0476]

薄膜のエッチングには、ドライエッチング法、ウェットエッチング法、及びサンドブラスト法の一または複数を用いることができる。

[0477]

<作製方法例1>

ここでは、図15A及び図15Bに示す半導体装置10Cの作製方法の一例を、図34A乃至図37を用いて説明する。図34A乃至図37には、図1Aに示す一点鎖線A1-A2間の断面図と、一点鎖線B1-B2間の断面図とを並べて示す。

[0478]

まず、基板102上に、絶縁層109を形成する。絶縁層109の形成は、スパッタリング法またはPECVD法を好適に用いることができる。

[0479]

続いて、絶縁層109上に、導電層112aとなる導電膜を形成し、当該導電膜を加工して導電層112aを形成する（図34A）。当該導電膜の形成は、スパッタリング法を好適に用いることができる。

[0480]

続いて、導電層112a上に、絶縁層110aとなる絶縁膜110af、及び絶縁層110bとなる絶縁膜110bfを形成する（図34B）。

[0481]

絶縁膜110af及び絶縁膜110bfの形成は、スパッタリング法またはPECVD法を好適

に用いることができる。絶縁膜110afを形成した後、絶縁膜110afの表面を大気に曝すことなく絶縁膜110bfを形成することが好ましい。これにより、絶縁膜110afの表面に大気由来の不純物が付着することを抑制できる。当該不純物として、例えば、水、及び有機物が挙げられる。例えば、絶縁膜110afを形成した後、同じ装置で連続して絶縁膜110bfを形成することが好ましい。

[0482]

絶縁膜110af及び絶縁膜110bfの形成時の基板温度はそれぞれ、180°C以上450°C以下が好ましく、さらには200°C以上450°C以下が好ましく、さらには250°C以上450°C以下が好ましく、さらには300°C以上450°C以下が好ましく、さらには300°C以上400°C以下が好ましく、さらには350°C以上400°C以下が好ましい。絶縁膜110af及び絶縁膜110bfの形成時の基板温度を前述の範囲とすることで、自身から放出される不純物(例えば、水及び水素)の量を少なくすることができ、不純物が半導体層108に拡散することを抑制することができる。したがって、良好な電気特性を示し、かつ信頼性の高いトランジスタとすることができる。

[0483]

なお、絶縁膜110af及び絶縁膜110bfは半導体層108より先に形成されるため、絶縁膜110af及び絶縁膜110bfの形成時に加わる熱によって半導体層108から酸素が脱離することを懸念する必要はない。

[0484]

絶縁膜110af及び絶縁膜110bfを形成した後に、加熱処理を行うことができる。加熱処理を行うことにより、絶縁膜110afの膜中、並びに絶縁膜110bfの膜中及び表面から不純物(例えば、水及び水素)を脱離させることができる。

[0485]

絶縁膜110bfを形成した後、絶縁膜110bfに酸素を供給することができる。酸素の供給方法として、例えば、イオン注入法、イオンドーピング法、プラズマイメージョンイオン注入法、またはプラズマ処理を用いることができる。プラズマ処理として、酸素ガスを高周波電力によってプラズマ化させる装置を好適に用いることができる。ガスを高周波電力によってプラズマ化させる装置として、例えば、PECVD装置、プラズマエッチング装置及びプラズマアッシング装置が挙げられる。プラズマ処理は、酸素を含む雰囲気で行うことが好ましい。例えば、酸素、一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)、二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)、一酸化炭素、及び二酸化炭素の一以上を含む雰囲気、プラズマ処理を行うことが好ましい。

[0486]

なお、絶縁膜110bfを形成した後、絶縁膜110bfの表面を大気に曝すことなく当該プラズマ処理を行うことができる。例えば、絶縁膜110bfの形成にPECVD装置を用いる場合、当該PECVD装置で当該プラズマ処理を行うことが好ましい。これにより、生産性を高めることができる。具体的には、PECVD装置で絶縁膜110bfを形成した後に、連続してN<sub>2</sub>Oプラズマ処理を行うことができる。

[0487]

続いて、絶縁膜110bf上に、膜139を形成することが好ましい(図34D)。膜139の形成は、スパッタリング法を好適に用いることができる。酸素を含む雰囲気、膜139を形成することにより、絶縁膜110bfに酸素を供給することができる。図34Cは、絶縁膜110bfへ酸素が

供給される様子を矢印で模式的に示している。

[0488]

膜139の導電性は問わない。膜139として、絶縁膜、半導体膜、及び導電膜の少なくとも一種を用いることができる。膜139として、例えば、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、ハフニウムアルミネート、インジウム酸化物、インジウムスズ酸化物（ITO）、またはシリコンを含有したインジウムスズ酸化物（ITSO）を用いることができる。

[0489]

膜139として、半導体層108と同一の元素を一以上含む酸化物材料を用いることが好ましい。特に、半導体層108に適用可能な酸化物半導体材料を用いることが好ましい。

[0490]

膜139の形成時に、成膜装置の処理室内に導入する成膜ガスの酸素流量比、または処理室内の酸素分圧が高いほど、絶縁膜110bf中に供給される酸素の量を増やすことができる。酸素流量比または酸素分圧は、例えば、50%以上100%以下が好ましく、さらには60%以上100%以下が好ましく、さらには70%以上100%以下が好ましく、さらには80%以上100%以下が好ましく、さらには90%以上100%以下が好ましい。特に、酸素流量比100%とし、酸素分圧を100%にできるだけ近づけることが好ましい。

[0491]

このように、酸素を含む雰囲気ですパッタリング法により膜139を形成することにより、膜139の形成時に、絶縁膜110bfへ酸素を供給するとともに、絶縁膜110bfから酸素が脱離することを防ぐことができる。その結果、絶縁膜110bfに多くの酸素を閉じ込めることができる。そして、後の加熱処理によって、半導体層108に多くの酸素を供給することができる。その結果、半導体層108中の酸素欠損及び $V_{OH}$ を低減することができ、良好な電気特性を示し、かつ信頼性の高いトランジスタとすることができる。

[0492]

膜139を形成した後、加熱処理を行ってもよい。膜139を形成した後に加熱処理を行うことで、膜139から絶縁膜110bfに効果的に酸素を供給することができる。

[0493]

加熱処理の温度は、150℃以上基板の歪み点未満が好ましく、さらには200℃以上450℃以下が好ましく、さらには250℃以上450℃以下が好ましく、さらには300℃以上450℃以下が好ましく、さらには300℃以上400℃以下が好ましく、さらには350℃以上400℃以下が好ましい。加熱処理は、貴ガス、窒素または酸素の一以上を含む雰囲気で行うことができる。窒素を含む雰囲気、または酸素を含む雰囲気として、乾燥空気（CDA: Clean Dry Air）を用いることができる。なお、当該雰囲気における水素、水などの含有量が極力少ないことが好ましい。当該雰囲気として、露点が-60℃以下、好ましくは-100℃以下の高純度ガスを用いることが好ましい。水素、水などの含有量が極力少ない雰囲気を用いることで、絶縁膜110af及び絶縁膜110bfに水素、水などが取り込まれることを可能な限り防ぐことができる。加熱処理は、オープン、急速加熱（RTA: Rapid Thermal Annealing）装置等を用いることができる。RTA装置を用いることで、加熱処理時間を短縮できる。

[0494]

膜139を形成した後、または前述の加熱処理の後に、さらに、膜139を介して絶縁膜110b

fに酸素を供給することもできる。酸素の供給方法として、例えば、イオン注入法、イオンドーピング法、プラズマイメージョンイオン注入法、またはプラズマ処理を用いることができる。プラズマ処理については、前述の記載を参照できるため、詳細な説明は省略する。

[0495]

続いて、膜139を除去する(図34E)。膜139の除去方法に特に限定は無いが、ウェットエッチング法を好適に用いることができる。ウェットエッチング法を用いることで、膜139の除去の際に、絶縁膜110bfがエッチングされることを抑制できる。これにより、絶縁膜110bfの厚さが薄くなることを抑制でき、絶縁層110bの厚さを均一にすることができる。

[0496]

絶縁膜110bfに対して酸素を供給する処理は、前述の方法に限定されない。例えば、絶縁膜110bfに対してイオンドーピング法、イオン注入法、またはプラズマ処理により、酸素ラジカル、酸素原子、酸素原子イオン、または酸素分子イオンを供給する。また、絶縁膜110bf上に酸素の脱離を抑制する膜を形成した後、該膜を介して絶縁膜110bfに酸素を供給することができる。該膜は、酸素を供給した後に除去することが好ましい。上述の酸素の脱離を抑制する膜として、インジウム、亜鉛、ガリウム、スズ、アルミニウム、クロム、タンタル、チタン、モリブデン、ニッケル、鉄、コバルト、及びタングステンの1以上を有する導電膜あるいは半導体膜を用いることができる。

[0497]

続いて、絶縁膜110bf上に、絶縁層110cとなる絶縁膜110cf、及び、絶縁層110eとなる絶縁膜110efを形成する(図35A)。絶縁膜110cfの形成は、スパッタリング法を好適に用いることができる。絶縁膜110cf及び絶縁膜110efの形成は、絶縁膜110af及び絶縁膜110bfの形成に係る記載を参照できるため、詳細な説明は省略する。

[0498]

続いて、絶縁膜110ef上に、導電層112bとなる導電膜112bfを形成する(図35B)。導電膜112bfの形成は、スパッタリング法を好適に用いることができる。

[0499]

続いて、導電膜112bfを加工し、導電層112Bを形成する(図35C)。導電層112Bは、後に導電層112bとなる。導電層112Bの形成は、例えば、ウェットエッチング法を好適に用いることができる。

[0500]

続いて、導電層112Bの一部を除去し、開口部143を有する導電層112bを形成する。導電層112bの形成は、ウェットエッチング法を好適に用いることができる。

[0501]

続いて、絶縁膜110af、絶縁膜110bf及び絶縁膜110cfの一部を除去し、開口部141を有する絶縁層110を形成する(図35D)。開口部141は、開口部143と重なる領域に設けられる。開口部141の形成により導電層112aが露出する。絶縁層110の形成は、ドライエッチング法を好適に用いることができる。

[0502]

開口部141は、例えば、開口部143の形成に用いたレジストマスクを用いて形成することができる。具体的には、導電層112B上にレジストマスクを形成し、当該レジストマスクを用いて導電層112Bの一部を除去して開口部143を形成し、当該レジストマスクを用いて絶縁膜110a

f、絶縁膜110bf及び絶縁膜110cfの一部を除去して開口部141を形成することができる。開口部141は、開口部143の形成に用いたレジストマスクと異なるレジストマスクを用いて形成することもできる。

[0503]

続いて、開口部141及び開口部143を覆うように、半導体層108となる金属酸化物膜108fを形成する(図36A)。金属酸化物膜108fは、導電層112bの上面及び側面、絶縁層110の上面及び側面、並びに導電層112aの上面に接して設けられる。

[0504]

金属酸化物膜108fは、金属酸化物ターゲットを用いたスパッタリング法により形成することが好ましい。または、金属酸化物膜108fは、ALD法により形成することが好ましい。ALD法は被覆性が高いため、開口部141及び開口部143を覆って設けられる金属酸化物膜108fの形成に、好適に用いることができる。ALD法を用いることにより、絶縁層110の側面にも被覆性高く金属酸化物膜を形成することができる。また、ALD法は成膜速度を制御しやすいため、厚さが薄い膜を歩留り良く形成できる。したがって、金属酸化物膜108fの厚さが薄い場合は特にALD法を好適に用いることができる。また、スパッタリング法、及びALD法に代わり、金属酸化物膜108fの形成に、CVD法を用いることもできる。

[0505]

金属酸化物膜108fは、可能な限り欠陥の少ない緻密な膜とすることが好ましい。また、金属酸化物膜108fは、可能な限り水素元素を含む不純物が低減され、高純度の膜であることが好ましい。特に、金属酸化物膜108fとして、結晶性を有する金属酸化物膜を用いることが好ましい。

[0506]

金属酸化物膜108fを形成する際に、酸素ガスを用いることが好ましい。酸素ガスを用いることで、絶縁層110中に好適に酸素を供給することができる。例えば、絶縁層110bに酸化物または酸化窒化物を用いる場合、絶縁層110b中に好適に酸素を供給することができる。

[0507]

絶縁層110bに酸素を供給することにより、後の工程で半導体層108に酸素が供給され、半導体層108中の酸素欠損及び $V_O$ を低減できる。

[0508]

金属酸化物膜108fの形成に、酸素ガスと、不活性ガス(例えば、ヘリウムガス、アルゴンガス、キセノンガスなど)と、を混合させて用いることができる。なお、金属酸化物膜を形成する際の成膜ガスの酸素流量比または酸素分圧が高いほど、金属酸化物膜の結晶性を高めることができ、信頼性の高いトランジスタを実現できる。一方、酸素流量比または酸素分圧が低いほど、結晶性が低く、電気伝導性の高い金属酸化物膜とすることができ、オン電流が大きいトランジスタとすることができる。

[0509]

ここで、酸素流量比または酸素分圧が高いと金属酸化物膜が多結晶構造となる場合がある。多結晶構造の金属酸化物膜の場合、結晶粒界が再結合中心となり、キャリアが捕獲されることにより、トランジスタのオン電流が小さくなってしまう場合がある。したがって、金属酸化物膜108fが多結晶構造とならないよう、それぞれの酸素流量比または酸素分圧を調整することが好ましい。金属酸化物膜の組成によって多結晶構造へのなりやすさが異なるため、金属酸化物膜108fの組成に応じて酸素流量比または酸素分圧を調整することが好ましい。

[0510]

金属酸化物膜を形成する際の基板温度が高いほど、結晶性が高く、緻密な金属酸化物膜とすることができる。これにより、信頼性の高いトランジスタとすることができる。一方、基板温度が低いほど、結晶性が低く、電気伝導性の高い金属酸化物膜とすることができる。これにより、オン電流が大きいトランジスタとすることができる。

[0511]

金属酸化物膜108fの形成時の基板温度は、室温以上250°C以下が好ましく、室温以上200°C以下がより好ましく、室温以上140°C以下がさらに好ましい。例えば、基板温度を、室温以上140°C以下とすると、生産性が高くなり好ましい。また、基板温度を室温とする、または基板を加熱しない状態で、金属酸化物膜を形成することにより、結晶性を低くすることができる。

[0512]

なお、基板温度が高いと金属酸化物膜が多結晶構造となる場合がある。金属酸化物膜108fに用いる材料の組成に応じて、基板温度を異ならせることが好ましい。

[0513]

ALD法を用いる場合、熱ALD法、またはPEALD (Plasma Enhanced ALD) 等の成膜方法を用いることが好ましい。熱ALD法は、極めて高い被覆性を示すため好ましい。PEALD法は、高い被覆性を示すことに加え、低温成膜が可能であるため好ましい。

[0514]

金属酸化物膜は、例えば、構成する金属元素を含むプリカーサと、酸化剤と、を用いてALD法により形成することができる。

[0515]

例えば、In-Ga-Zn酸化物を形成する場合には、インジウムを含むプリカーサ、ガリウムを含むプリカーサ、及び亜鉛を含むプリカーサの、3つのプリカーサを用いることができる。または、インジウムを含むプリカーサと、ガリウム及び亜鉛を含むプリカーサの2つのプリカーサを用いることもできる。

[0516]

インジウムを含むプリカーサとして、例えば、トリエチルインジウム、トリメチルインジウム、トリス(2, 2, 6, 6-テトラメチル-3, 5-ヘプタンジオン酸)インジウム、シクロペンタジエニルインジウム、塩化インジウム(III)、(3-(ジメチルアミノ)プロピル)ジメチルインジウム、及び[1, 1, 1-トリメチル-N-(トリメチルシリル)アミド]-インジウムが挙げられる。

[0517]

ガリウムを含むプリカーサとして、例えば、トリメチルガリウム、トリエチルガリウム、三塩化ガリウム、トリス(ジメチルアミド)ガリウム(III)、ガリウム(III)アセチルアセトナート、トリス(2, 2, 6, 6-テトラメチル-3, 5-ヘプタンジオン酸)ガリウム、ジメチルクロロガリウム、及びジエチルクロロガリウムが挙げられる。

[0518]

アルミニウムを含むプリカーサとして、例えば、塩化アルミニウム、及びトリメチルアルミニウムが挙げられる。

[0519]

スズを含むプリカーサとして、例えば、塩化スズ(IV)、及びテトラキス(ジメチルアミド)ス

ズが挙げられる。

[0520]

亜鉛を含むプリカーサとして、例えば、ジメチル亜鉛、ジエチル亜鉛、ビス(2, 2, 6, 6-テトラメチルー3, 5-ヘプタンジオン酸)亜鉛、及び塩化亜鉛が挙げられる。

[0521]

酸化剤として、例えば、オゾン、酸素、及び水が挙げられる。

[0522]

得られる膜の組成を制御する方法として、原料ガスの種類、原料ガスの流量比、原料ガスを流す時間、及び原料ガスを流す順番の一または複数を調整することが挙げられる。これらを調整することにより、金属酸化物膜108fの組成を制御することができる。また、これらを調整することで、組成が連続して変化する金属酸化物膜108fを形成することもできる。

[0523]

金属酸化物膜108fを成膜する前に、絶縁層110の表面に吸着した水、水素、及び有機物等を脱離させるための処理、及び絶縁層110中に酸素を供給する処理のうち、少なくとも一方を行うことが好ましい。例えば、減圧雰囲気にて70°C以上200°C以下の温度で加熱処理を行うことができる。または、酸素を含む雰囲気におけるプラズマ処理を行ってもよい。または、一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)などの酸化性気体を含む雰囲気におけるプラズマ処理により、絶縁層110に酸素を供給してもよい。一酸化二窒素ガスを含むプラズマ処理を行うと、絶縁層110の表面の有機物を好適に除去しつつ、酸素を供給することができる。このような処理の後、絶縁層110の表面を大気に暴露することなく、連続して金属酸化物膜108fを成膜することが好ましい。

[0524]

なお、半導体層108を積層構造とする場合には、先に形成する金属酸化物膜を成膜した後に、その表面を大気に曝すことなく連続して、次の金属酸化物膜を成膜することが好ましい。

[0525]

半導体層108を積層構造とする場合には、半導体層108を構成する全ての層を同じ成膜方法(例えば、スパッタリング法またはALD法)で形成することができる。または、層によって異なる成膜方法を用いることもできる。例えば、第1の金属酸化物層をスパッタリング法で成膜し、第2の金属酸化物層をALD法で成膜することができる。

[0526]

続いて、金属酸化物膜108fを島状に加工し、半導体層108を形成する(図36B)。

[0527]

半導体層108の形成は、ウェットエッチング法を好適に用いることができる。このとき、半導体層108と重ならない領域の導電層112bの一部がエッチングされ、薄くなる場合がある。同様に、半導体層108及び導電層112bの双方と重ならない領域の絶縁層110の一部がエッチングされ、厚さが薄くなる場合がある。例えば、絶縁層110のうち、絶縁層110cがエッチングにより消失し、絶縁層110bの表面が露出する場合もある。なお、金属酸化物膜108fのエッチングにおいて、絶縁層110cに選択比の高い材料を用いることで、絶縁層110cの厚さが薄くなることを抑制できる。

[0528]

金属酸化物膜108fの成膜後、または金属酸化物膜108fを半導体層108に加工した後に、

加熱処理を行うことが好ましい。加熱処理により、金属酸化物膜108fまたは半導体層108中に含まれる、または表面に吸着した水素及び水を除去することができる。また、加熱処理により、金属酸化物膜108fまたは半導体層108の膜質が向上する（例えば、欠陥が低減する、または結晶性が向上する）場合がある。

[0529]

加熱処理により、絶縁層110bから金属酸化物膜108f、または半導体層108に酸素を供給することもできる。このとき、半導体層108に加工する前に加熱処理を行うことがより好ましい。加熱処理については、前述の記載を参照できるため、詳細な説明は省略する。

[0530]

なお、当該加熱処理は不要であれば行わなくてもよい。また、ここでは加熱処理は行わず、後の工程で行われる加熱処理と兼ねることもできる。また、後の工程での高温下の処理（例えば成膜工程）が、当該加熱処理を兼ねられる場合もある。

[0531]

続いて、半導体層108、導電層112b、及び絶縁層110を覆って、絶縁層106を形成する（図36C）。絶縁層106の形成は、例えば、PECVD法、スパッタリング法またはALD法を好適に用いることができる。

[0532]

半導体層108に酸化物半導体を用いる場合、絶縁層106は、酸素が拡散することを抑制するバリア膜として機能することが好ましい。絶縁層106が酸素の拡散を抑制する機能を有することにより、酸素が絶縁層106より上側から導電層104へ拡散することが抑制され、導電層104が酸化されることを抑制できる。その結果、良好な電気特性を示し、かつ信頼性の高いトランジスタとすることができる。

[0533]

ゲート絶縁層として機能する絶縁層106の形成時の温度を高くすることにより、欠陥の少ない絶縁層とすることができる。しかしながら、絶縁層106の形成時の温度が高いと半導体層108から酸素が脱離し、半導体層108中の酸素欠損及び $V_{\text{O}}$ 、 $H$ が増加してしまう場合がある。絶縁層106の形成時の基板温度は、180°C以上450°C以下が好ましく、さらには200°C以上450°C以下が好ましく、さらには250°C以上450°C以下が好ましく、さらには300°C以上450°C以下が好ましく、さらには300°C以上400°C以下が好ましい。絶縁層106の形成時の基板温度を前述の範囲とすることで、絶縁層106の欠陥を少なくするとともに、半導体層108から酸素が脱離することを抑制できる。したがって、良好な電気特性を示し、かつ信頼性の高いトランジスタとすることができる。

[0534]

絶縁層106を形成する前に、半導体層108の表面に対してプラズマ処理を行ってもよい。当該プラズマ処理により、半導体層108の表面に吸着する水などの不純物を低減することができる。そのため、半導体層108と絶縁層106との界面における不純物を低減でき、信頼性の高いトランジスタを実現できる。特に、半導体層108の形成から、絶縁層106の形成までの間に半導体層108の表面が大気に曝される場合に好適である。プラズマ処理は、例えば、酸素、オゾン、窒素、一酸化二窒素、アルゴンなどの雰囲気で行うことができる。また、プラズマ処理と絶縁層106の成膜とは、大気に曝すことなく連続して行われることが好ましい。

[0535]

続いて、半導体層108に不純物元素189を供給する(図37)。不純物元素189を供給することで、領域108Da及び領域108Dbが形成される。

[0536]

不純物元素189は、基板102の上面に対して垂直または概略垂直な方向から供給されることが好ましい。この場合、前述の通り、半導体層108において、基板102の上面に対して傾斜している領域は、基板102の上面に対して平行または概略平行な領域と比べて、供給される不純物元素の量が少なくなる。つまり、半導体層108のソース領域及びドレイン領域は、チャンネル形成領域と比較して、供給される不純物元素の量が多くなる。したがって、優先的にソース領域及びドレイン領域の電気抵抗を低くすることができる。不純物元素189が半導体層108に供給されることで、半導体層108中に酸素欠損( $V_o$ )が生じる場合がある。または、不純物元素189が半導体層108に供給されることで、不純物元素189と半導体層108中の酸素欠損( $V_o$ )とが、結合する場合がある。

[0537]

さらに、不純物元素189は、絶縁層106を介して、半導体層108に供給されることが好ましい。不純物元素189が供給される方向における絶縁層106の厚さは、場所によって異なる。そのため、半導体層108には、不純物元素189の供給量が多い領域と少ない領域とが生じる。具体的には、半導体層108における、導電層112aの上面または導電層112bの上面に沿って設けられている領域は、絶縁層110の側面に沿って設けられている領域に比べて、供給される不純物元素の量が多くなる。このように、半導体層108のチャンネル形成領域に不純物元素が供給されることを抑制し、優先的にソース領域及びドレイン領域の電気抵抗を低くすることができる。なお、このとき、絶縁層106にも不純物元素189が供給される。

[0538]

不純物元素189に用いることができる元素は、前述の通りである。

[0539]

前述したように、不純物元素189の供給には、プラズマイオンドーピング法またはイオン注入法を好適に用いることができる。

[0540]

原料ガスをイオン化し、当該イオンを質量分離して供給するイオン注入法を用いることで、供給される不純物元素の純度を高めることができる。イオン注入法を用いる場合、不純物元素189として、前述の第1の元素を用いることが好ましく、ホウ素またはリンを用いることがより好ましい。不純物元素189として、酸素と結合して安定になる元素を用いることで、電気抵抗が低い状態で安定した領域108Da及び領域108Dbを実現できる。

[0541]

質量分離せずに供給するプラズマイオンドーピング法を用いることで、生産性を高めることができる。プラズマイオンドーピング法を用いる場合、不純物元素189として、第1の元素と、水素と、の双方を用いることが好ましく、ホウ素またはリンと、水素と、の双方を用いることがさらに好ましい。不純物元素189として、酸素と結合して安定になる元素と、水素と、の双方を用いることで、領域108Da及び領域108Dbの電気抵抗を低くしやすく、かつ、電気抵抗が低い状態を安定して維持できる。

[0542]

不純物元素189の供給に用いるイオン注入装置またはイオンドーピング装置は、LTPSトランジスタなどのSiトランジスタの製造にも用いられるため、既存のLTPS製造ラインの装置を流用することができ、新たな設備投資を必要としないため好ましい。これにより、半導体装置の製造に係る、初期の設備投資費用を安くすることができる。また、ホウ素及びリンは、Siトランジスタの製造ラインのイオン注入装置またはイオンドーピング装置で用いられ、新たな設備投資を必要としないため特に好ましい。

[0543]

不純物元素189の供給処理において、半導体層108のうち、導電層112aまたは導電層112bと重なる部分における不純物元素の濃度が、他の領域における当該不純物元素の濃度よりも高くなるように、処理条件を制御することが好ましい。これにより、半導体層108のソース領域及びドレイン領域に、最適な濃度の不純物元素189を供給することができる。

[0544]

不純物元素189の原料ガスとして、前述の不純物元素を含むガスを用いることができる。ホウ素を供給する場合、代表的には $B_2H_6$ ガス、 $BF_3$ ガスなどを用いることができる。また、リンを供給する場合には、代表的には $PH_3$ ガスを用いることができる。また、これらの原料ガスを水素または貴ガスで希釈した混合ガスを用いてもよい。

[0545]

その他、原料ガスとして、 $CH_4$ 、 $N_2$ 、 $NH_3$ 、 $AlH_3$ 、 $AlCl_3$ 、 $SiH_4$ 、 $Si_2H_6$ 、 $F_2$ 、 $HF$ 、 $H_2$ 、 $(C_5H_5)_2Mg$ 、及び貴ガス等を用いることができる。また、不純物元素の供給に用いる原料は気体に限られず、固体または液体を加熱して気化させて用いることもできる。

[0546]

例えば、ホウ素及び水素を含むガスを用いて、不純物元素189として、ホウ素と水素を供給することが好ましい。この場合、質量分離せずに不純物元素189を供給でき、かつ、半導体層108の電気抵抗を低くすることが容易となるため、半導体装置の生産性及び特性の双方の向上を図ることができ、好ましい。

[0547]

不純物元素189の供給は、不純物元素189の種類、絶縁層106及び半導体層108それぞれの組成、膜密度、及び厚さなどを考慮して、加速エネルギー及びドーズ量などの条件を設定することで制御することができる。

[0548]

なお、不純物元素189の供給方法に限定は無く、例えばプラズマ処理、または、加熱による熱拡散を利用した処理などを用いることもできる。プラズマ処理法の場合、供給する不純物元素を含むガス雰囲気にてプラズマを発生させて、プラズマ処理を行うことによつて、不純物元素を供給することができる。上記プラズマを発生させる装置として、ドライエッチング装置、アッシング装置、プラズマCVD装置、高密度プラズマCVD装置等を用いることができる。

[0549]

本発明の一態様では、絶縁層106を介して不純物元素189を半導体層108に供給する。これにより、不純物元素189の供給の際に半導体層108の結晶性が低下することを抑制できる。そのため、結晶性の低下により電気抵抗が増大することを抑制できる。

[0550]

また、不純物元素189の供給後に、絶縁層106を成膜すると、絶縁層106の成膜室内が汚染される恐れがある。このことから、絶縁層106を成膜した後に、不純物元素189を供給することが好ましい。

[0551]

一方、半導体層108に直接、不純物元素189を供給したのち、半導体層108上に絶縁層106を成膜することもできる。これにより、絶縁層106が不純物元素189の供給によるダメージを受けることを抑制できる。

[0552]

不純物元素189の供給工程は、基板102を加熱しながら行うことが好ましい。これにより、半導体層108において、不純物元素189が供給される際に加わるダメージを、修復することができる。つまり、半導体層108に対して、不純物元素189の供給と、当該供給に伴い加わるダメージの修復と、を並行して行うことができる。また、絶縁層106における、不純物元素189が供給される際に加わるダメージの修復も図ることができる。なお、本発明の一態様はこれに限定されず、不純物元素189の供給工程は、基板102を加熱せずに行うことができる。

[0553]

不純物元素189の供給工程における基板温度は、150℃以上基板の歪み点未満が好ましく、さらには200℃以上500℃以下が好ましく、さらには200℃以上450℃以下が好ましく、さらには250℃以上400℃以下が好ましく、さらには250℃以上350℃以下、または、300℃以上400℃以下が好ましく、さらには300℃以上350℃以下が好ましい。

[0554]

不純物元素189を供給した後に、加熱処理を行うことができる。当該加熱処理を行うことで、不純物元素189の供給工程で半導体層108及び絶縁層106が受けたダメージを修復することができる。

[0555]

なお、当該加熱処理の温度が高すぎると、領域108Daの電気抵抗、領域108Dbの電気抵抗、領域108Daと導電層112aとの接触抵抗、及び領域108Dbと導電層112bとの接触抵抗が高くなる恐れがある。したがって、不純物元素189を供給後の加熱処理の温度は、150℃以上基板の歪み点未満が好ましく、さらには200℃以上500℃以下が好ましく、さらには200℃以上450℃以下が好ましく、さらには250℃以上400℃以下が好ましく、さらには250℃以上350℃以下、または、300℃以上400℃以下が好ましく、さらには300℃以上350℃以下が好ましい。

[0556]

不純物元素189として酸素と結合して安定になる元素を用いることで、熱が加わる工程において不純物元素189が脱離することを抑制できる。したがって、不純物元素189を供給した後、熱が加わる工程を経ても領域108Da及び領域108Dbの電気抵抗が低く保つことができる。

[0557]

続いて、絶縁層106上に、導電層104を形成する（図15A及び図15B）。導電層104となる導電膜の形成は、例えば、スパッタリング法、熱CVD法（MOCVD法を含む）、またはALD法を好適に用いることができる。

[0558]

以上の工程により、本発明の一態様の半導体装置10Cを作製することができる。

[0559]

<作製方法例2>

ここでは、領域108Da及び領域108Dbが第1の元素に加えて、第2の元素を有する構成の作製方法について、説明する。なお、前述の<作製方法例1>と重複する部分については説明を省略し、相違する部分について説明する。

[0560]

図38A及び図38Bには、図1Aに示す一点鎖線A1-A2間の断面図と、一点鎖線B1-B2間の断面図とを並べて示す。

[0561]

まず、<作製方法例1>と同様に、絶縁層106の形成まで行う。絶縁層106の形成までは、図34A及び図36Cに係る説明を参照できるため、詳細な説明は省略する。

[0562]

続いて、半導体層108に不純物元素187を供給する(図38A)。不純物元素187として、前述の第2の元素を用いることが好ましく、アルゴンを好適に用いることができる。不純物元素187を供給することにより、第2の元素を有する領域108Ea及び領域108Ebが形成される。後に、領域108Eaは領域108Daとなり、領域108Ebは領域108Dbとなる。

[0563]

不純物元素187の供給は、前述の不純物元素189の供給に用いることができる方法を用いることができる。不純物元素187の供給には、プラズマイオンドーピング法またはイオン注入法を好適に用いることができる。不純物元素187の供給は、不純物元素187の種類、絶縁層106及び半導体層108それぞれの組成、膜密度、及び厚さなどを考慮して、加速エネルギー及びドーズ量などの条件を設定することで制御することができる。

[0564]

不純物元素187は、基板102の上面に対して垂直または概略垂直な方向から供給されることが好ましい。不純物元素187の供給については、前述の不純物元素189の供給に係る記載を参照できる。

[0565]

不純物元素187の供給により、領域108Daとなる領域108Ea、及び領域108Dbとなる領域108Ebにおいて、金属酸化物の金属と酸素の結合が切断される。また、金属と酸素の結合の切断により、領域108Ea及び領域108Ebに酸素欠損( $V_o$ )が生じる。この後、領域108Ea及び領域108Ebに第1の元素を供給することにより、第1の元素は効率的に酸素と結合することができる。したがって、領域108Da及び領域108Dbの電気抵抗を効率的に低くすることができる。

[0566]

続いて、半導体層108に不純物元素189を供給する(図38B)。不純物元素189を供給することにより、領域108Da及び領域108Dbが形成される。領域108Da及び領域108Dbはそれぞれ、第1元素と、第2の元素と、を有する。

[0567]

不純物元素 189 の供給条件は、不純物元素 187 の供給条件と異ならせることができる。第 1 の元素の種類、及び第 2 の元素の種類に応じて、加速エネルギー及びドーズ量などの条件をそれぞれ設定することが好ましい。なお、不純物元素 187 の供給条件と不純物元素 189 の供給条件を同じとすることもできる。

[0568]

なお、ここでは、第 1 の元素と第 2 の元素を異なる工程で供給する例を挙げて説明したが、本発明の一態様はこれに限られない。第 1 の元素と第 2 の元素を同じ工程で供給することができる。

[0569]

続いて、絶縁層 106 上に、導電層 104 を形成する（図 15A 及び図 15B）。導電層 104 の形成については、前述の記載を参照できる。

[0570]

以上の工程により、本発明の一態様の半導体装置 10C を作製することができる。

[0571]

本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせることができる。

[0572]

(実施の形態 3)

本実施の形態では、本発明の一態様の表示装置について、図 39 乃至図 47 を用いて説明する。

[0573]

本実施の形態の表示装置は、解像度の高い表示装置または大型の表示装置とすることができる。したがって、本実施の形態の表示装置は、例えば、テレビジョン装置、デスクトップ型もしくはノート型のコンピュータ、コンピュータ用などのモニタ、デジタルサイネージ、及び、パチンコ機などの大型ゲーム機などの比較的大きな画面を備える電子機器の他、デジタルカメラ、デジタルビデオカメラ、デジタルフォトフレーム、携帯電話機、携帯型ゲーム機、携帯情報端末、及び、音響再生装置の表示部に用いることができる。

[0574]

本実施の形態の表示装置は、高精細な表示装置とすることができる。したがって、本実施の形態の表示装置は、例えば、腕時計型、及び、ブレスレット型などの情報端末機（ウェアラブル機器）の表示部、並びに、ヘッドマウントディスプレイ（HMD）などの VR 向け機器、及び、メガネ型の AR 向け機器などの頭部に装着可能なウェアラブル機器の表示部に用いることができる。

[0575]

本発明の一態様の半導体装置は、表示装置、または、当該表示装置を有するモジュールに用いることができる。当該表示装置を有するモジュールとして、当該表示装置にフレキシブルプリント回路基板（Flexible printed circuit、以下、FPC と記す）もしくは TCP（Tape Carrier Package）等のコネクタが取り付けられたモジュール、COG（Chip On Glass）方式もしくは COF（Chip On Film）方式等により集積回路（IC）が実装されたモジュール等が挙げられる。

[0576]

本実施の形態の表示装置はタッチパネルとしての機能を有していてもよい。例えば、表示装置には、指などの被検知体の近接または接触を検知できる様々な検知素子（センサ素子ともいえる）を適用することができる。

[0577]

センサの方式として、例えば、静電容量方式、抵抗膜方式、表面弾性波方式、赤外線方式、光学方式、及び、感圧方式が挙げられる。

[0578]

静電容量方式として、例えば、表面型静電容量方式、投影型静電容量方式がある。また、投影型静電容量方式として、例えば、自己容量方式、相互容量方式がある。相互容量方式を用いると、同時多点検出が可能となるため好ましい。

[0579]

タッチパネルとして、例えば、アウトセル型、オンセル型、及び、インセル型が挙げられる。なお、インセル型のタッチパネルは、表示素子を支持する基板と対向基板のうち一方または双方に、検知素子を構成する電極が設けられた構成をいう。

[0580]

<表示装置50A>

図39に、表示装置50Aの斜視図を示す。

[0581]

表示装置50Aは、基板152と基板151とが貼り合わされた構成を有する。図39では、基板152を破線で示している。

[0582]

表示装置50Aは、表示部162、接続部140、回路部164、導電層165等を有する。図39では表示装置50AにIC173及びFPC172が実装されている例を示している。そのため、図39に示す構成は、表示装置50Aと、ICと、FPCと、を有する表示モジュールということもできる。

[0583]

接続部140は、表示部162の外側に設けられる。接続部140は、表示部162の一辺または複数の辺に沿って設けることができる。接続部140は、単数であっても複数であってもよい。図39では、表示部162の四辺を囲むように接続部140が設けられている例を示す。接続部140では、表示素子の共通電極と、導電層とが電氣的に接続されており、共通電極に電位を供給することができる。

[0584]

回路部164は、例えば走査線駆動回路（ゲートドライバともいう）を有する。また、回路部164は、走査線駆動回路及び信号線駆動回路（ソースドライバともいう）の双方を有していてもよい。

[0585]

導電層165は、表示部162及び回路部164に信号及び電力を供給する機能を有する。当該信号及び電力は、FPC172を介して外部から導電層165に入力される、またはIC173から導電層165に入力される。

[0586]

図39では、COG方式またはCOF方式等により、基板151にIC173が設けられている例を示す。IC173には、例えば、走査線駆動回路及び信号線駆動回路のうち一方または双方を有するICを適用できる。なお、表示装置50A及び表示モジュールは、ICを設けない構成としてもよい。また、ICを、COF方式等により、FPCに実装してもよい。

[0587]

本発明の一態様の半導体装置は、例えば、表示装置50Aの表示部162及び回路部164の一方または双方に適用することができる。表示装置が有するトランジスタのチャンネル形成領域には酸化物半導体(OS)を好適に用いることができる。OSトランジスタを用いることにより、消費電力の低い表示装置とすることができる。また、本発明の一態様である半導体装置を表示部162及び回路部164の双方に用いる、つまり表示装置が有するトランジスタの全てをOSトランジスタとすることもできる。このように表示装置が有するトランジスタの全てをOSトランジスタとすることで、製造コストを低く抑えることができるといった効果を奏する。

[0588]

例えば、本発明の一態様の半導体装置を表示装置の画素回路に適用する場合、画素回路の占有面積を縮小することができ、高精細の表示装置とすることができる。また、例えば、本発明の一態様の半導体装置を表示装置の駆動回路(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)に適用する場合、駆動回路の占有面積を縮小することができ、狭額縁の表示装置とすることができる。また、本発明の一態様の半導体装置は、電気特性が良好であるため、表示装置に用いることで表示装置の信頼性を高めることができる。

[0589]

表示部162は、表示装置50Aにおける画像を表示する領域であり、周期的に配列された複数の画素201を有する。図39には、1つの画素201の拡大図を示している。

[0590]

本実施の形態の表示装置における画素の配列に特に限定はなく、様々な方法を適用することができる。画素の配列として、例えば、ストライプ配列、Sストライプ配列、マトリクス配列、デルタ配列、ベイヤー配列、及びペンタイル配列が挙げられる。

[0591]

図39に示す画素201は、赤色の光を呈する副画素11R、緑色の光を呈する副画素11G、及び、青色の光を呈する副画素11Bを有する。なお、1つの画素が有する副画素の数は特に限定されない。

[0592]

副画素11R、11G、11Bは、それぞれ、表示素子と、当該表示素子の駆動を制御する回路と、を有する。

[0593]

表示素子として、様々な素子を用いることができ、例えば、液晶素子及び発光素子が挙げられる。その他、シャッター方式または光干渉方式のMEMS(Micro Electro Mechanical Systems)素子、マイクロカプセル方式、電気泳動方式、エレクトロウエッティング方式、または電子粉流体(登録商標)方式等を適用した表示素子などを用いることもできる。また、光源と、量子ドット材料による色変換技術と、を用いたQLED(Quantum-dot LED)を用いてもよい。

[0594]

液晶素子を用いた表示装置として、例えば、透過型の液晶表示装置、反射型の液晶表示装置、及び、半透過型の液晶表示装置が挙げられる。

[0595]

液晶素子を用いた表示装置に用いることができるモードとして、例えば、垂直配向（VA: Vertical Alignment）モード、FFS（Fringe Field Switching）モード、IPS（In-Plane-Switching）モード、TN（Twisted Nematic）モード、ASM（Axially Symmetric aligned Micro-cell）モード、OCB（Optically Compensated Birefringence）モード、FLC（Ferroelectric Liquid Crystal）モード、AFLC（AntiFerroelectric Liquid Crystal）モード、ECB（Electrically Controlled Birefringence）モード、及び、ゲストホストモードが挙げられる。VAモードとして、例えば、MVA（Multi-Domain Vertical Alignment）モード、PVA（Patterned Vertical Alignment）モード、及び、ASV（Advanced Super View）モードが挙げられる。

[0596]

液晶素子に用いることができる液晶材料として、例えば、サーモトロピック液晶、低分子液晶、高分子液晶、高分子分散型液晶（PDLC: Polymer Dispersed Liquid Crystal）、高分子ネットワーク型液晶（PNLC: Polymer Network Liquid Crystal）、強誘電性液晶、及び、反強誘電性液晶が挙げられる。これらの液晶材料は、条件により、コレステリック相、スメクチック相、キュービック相、カイラルネマチック相、等方相、ブルー相などを示す。また、液晶材料として、ポジ型の液晶及びネガ型の液晶のどちらを用いてもよく、適用するモードまたは設計に応じて選択できる。

[0597]

発光素子として、例えば、LED（Light Emitting Diode）、OLED（Organic LED）、半導体レーザなどの、自発光型の発光素子が挙げられる。LEDとして、例えば、ミニLED、マイクロLEDなどを用いることができる。

[0598]

発光素子が有する発光物質として、例えば、蛍光を発する物質（蛍光材料）、燐光を発する物質（燐光材料）、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）、及び、無機化合物（量子ドット材料等）が挙げられる。

[0599]

発光素子の発光色は、赤外、赤、緑、青、シアン、マゼンタ、黄、または白など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高めることができる。

[0600]

発光素子が有する一対の電極のうち、一方の電極は陽極として機能し、他方の電極は陰極として機能する。

[0601]

なお、本発明の一態様の表示装置は、発光素子が形成されている基板とは反対方向に光を射出する上面射出型（トップエミッション型）、発光素子が形成されている基板側に光を射出する下面射出型（ボトムエミッション型）、両面に光を射出する両面射出型（デュアルエミッション型）のいずれであつてもよい。

[0602]

図40Aに、表示装置50Aの、FPC172を含む領域の一部、回路部164の一部、表示部162の一部、接続部140の一部、及び、端部を含む領域の一部をそれぞれ切断したときの断面の一例を示す。

[0603]

図40Aに示す表示装置50Aは、基板151と基板152の間に、トランジスタ205D、205R、205G、205B、発光素子130R、発光素子130G、発光素子130B等を有する。発光素子130Rは、赤色の光を呈する副画素11Rが有する表示素子であり、発光素子130Gは、緑色の光を呈する副画素11Gが有する表示素子であり、発光素子130Bは、青色の光を呈する副画素11Bが有する表示素子である。

[0604]

表示装置50Aには、SBS構造が適用されている。SBS構造は、発光素子ごとに材料及び構成を最適化することができるため、材料及び構成の選択の自由度が高まり、輝度の向上及び信頼性の向上を図ることが容易となる。

[0605]

表示装置50Aは、トップエミッション型である。トップエミッション型は、トランジスタ等を発光素子の発光領域と重ねて配置できるため、ボトムエミッション型に比べて画素の開口率を高めることができる。

[0606]

トランジスタ205D、トランジスタ205R、トランジスタ205G、及びトランジスタ205Bは、いずれも基板151上に形成されている。これらのトランジスタは、同じ工程で作製することができる。なお、トランジスタ205D、トランジスタ205R、トランジスタ205G、及びトランジスタ205Bで異なる構造のトランジスタを用いてもよい。

[0607]

本実施の形態では、トランジスタ205D、205R、205G、205Bには、OSトランジスタを用いる例を示す。トランジスタ205D、205R、205G、205Bには、本発明の一態様のトランジスタを用いることができる。つまり、表示装置50Aは、表示部162及び回路部164の双方に、本発明の一態様のトランジスタを有する。表示部162に本発明の一態様のトランジスタを用いることで、画素サイズを縮小でき、高精細化を図ることができる。また、回路部164に本発明の一態様のトランジスタを用いることで、回路部164の占有面積を小さくでき、狭額縁化を図ることができる。本発明の一態様のトランジスタについては、先の実施の形態の記載を参照できる。

[0608]

具体的には、トランジスタ205D、205R、205G、205Bは、それぞれ、ゲートとして機能する導電層104、ゲート絶縁層として機能する絶縁層106、ソース及びドレインとして機能する導電層112a及び導電層112b、金属酸化物を有する半導体層108、並びに、絶縁層110を有する。ここでは、同じ導電膜を加工して得られる複数の層に、同じハッチングパターンを付している。絶縁層110は、導電層112aと導電層112bとの間に位置する。絶縁層106は、導電層104と半導体層108との間に位置する。

[0609]

なお、本実施の形態の表示装置が有するトランジスタは、本発明の一態様のトランジスタのみに限

定されない。例えば、本発明の一態様のトランジスタと、他の構造のトランジスタと、を組み合わせることで有していてもよい。

[0610]

本実施の形態の表示装置は、例えば、プレナー型のトランジスタ、スタガ型のトランジスタ、逆スタガ型のトランジスタのいずれか一以上を有していてもよい。本実施の形態の表示装置が有するトランジスタは、トップゲート型またはボトムゲート型のいずれとしてもよい。または、チャンネルが形成される半導体層の上下にゲートが設けられていてもよい。

[0611]

本実施の形態の表示装置は、Siトランジスタを有していてもよい。

[0612]

画素回路に含まれる発光素子の発光輝度を高くする場合、発光素子に流す電流量を大きくする必要がある。そのためには、画素回路に含まれている駆動トランジスタのソースドレイン間電圧を高くする必要がある。OSトランジスタは、Siトランジスタと比較して、ソースドレイン間において耐圧が高いため、OSトランジスタのソースドレイン間には高い電圧を印加することができる。したがって、画素回路に含まれる駆動トランジスタをOSトランジスタとすることで、発光素子に流れる電流量を大きくし、発光素子の発光輝度を高くすることができる。

[0613]

トランジスタが飽和領域で動作する場合において、OSトランジスタは、Siトランジスタよりも、ゲートソース間電圧の変化に対して、ソースドレイン間電流の変化を小さくすることができる。このため、画素回路に含まれる駆動トランジスタとしてOSトランジスタを適用することによって、ゲートソース間電圧の変化によって、ソースドレイン間に流れる電流を細かく定めることができるため、発光素子に流れる電流量を制御することができる。このため、画素回路における階調数を多くすることができる。

[0614]

トランジスタが飽和領域で動作するときに流れる電流の飽和性において、OSトランジスタは、ソースドレイン間電圧が徐々に高くなった場合においても、Siトランジスタよりも安定した電流（飽和電流）を流すことができる。そのため、OSトランジスタを駆動トランジスタとして用いることで、例えば、発光素子の電流－電圧特性にばらつきが生じた場合においても、発光素子に安定した電流を流すことができる。つまり、OSトランジスタは、飽和領域で動作する場合において、ソースドレイン間電圧を変化させても、ソースドレイン間電流がほぼ変化しないため、発光素子の発光輝度を安定させることができる。

[0615]

回路部164が有するトランジスタと、表示部162が有するトランジスタは、同じ構造であってもよく、異なる構造であってもよい。回路部164が有する複数のトランジスタの構造は、全て同じであってもよく、2種類以上であってもよい。同様に、表示部162が有する複数のトランジスタの構造は、全て同じであってもよく、2種類以上であってもよい。

[0616]

表示部162が有するトランジスタの全てをOSトランジスタとしてもよく、表示部162が有するトランジスタの全てをSiトランジスタとしてもよく、表示部162が有するトランジスタの一部をOSトランジスタとし、残りをSiトランジスタとしてもよい。

[0617]

例えば、表示部162にLTPSトランジスタとOSトランジスタとの双方を用いることで、消費電力が低く、駆動能力の高い表示装置を実現することができる。また、LTPSトランジスタと、OSトランジスタとを、組み合わせる構成をLTPOと呼称する場合がある。なお、より好適な例として、配線間の導通、非導通を制御するためのスイッチとして機能するトランジスタ等にOSトランジスタを適用し、電流を制御するトランジスタ等にLTPSトランジスタを適用する構成が挙げられる。

[0618]

例えば、表示部162が有するトランジスタの一は、発光素子に流れる電流を制御するためのトランジスタとして機能し、駆動トランジスタとも呼ぶことができる。駆動トランジスタのソース及びドレインの一方は、発光素子の画素電極と電氣的に接続される。当該駆動トランジスタには、LTPSトランジスタを用いることが好ましい。これにより、画素回路において発光素子に流れる電流を大きくできる。

[0619]

一方、表示部162が有するトランジスタの他の一は、画素の選択、非選択を制御するためのスイッチとして機能し、選択トランジスタとも呼ぶことができる。選択トランジスタのゲートはゲート線と電氣的に接続され、ソース及びドレインの一方は、ソース線（信号線）と電氣的に接続される。選択トランジスタには、OSトランジスタを適用することが好ましい。これにより、フレーム周波数を著しく低く（例えば1fps以下）しても、画素の階調を維持することができるため、静止画を表示する際にドライバを停止することで、消費電力を低減することができる。

[0620]

トランジスタ205D、205R、205G、205Bを覆うように、絶縁層218が設けられ、絶縁層218上に絶縁層235が設けられている。

[0621]

絶縁層218は、トランジスタの保護層として機能することが好ましい。絶縁層218には、水及び水素などの不純物が拡散しにくい材料を用いることが好ましい。これにより、絶縁層218をバリア膜として機能させることができる。このような構成とすることで、トランジスタに外部から不純物が拡散することを効果的に抑制でき、表示装置の信頼性を高めることができる。

[0622]

絶縁層218は、1層以上の無機絶縁層を有することが好ましい。絶縁層218は、絶縁層110に用いることができる材料を用いることができる。

[0623]

絶縁層235は、平坦化層としての機能を有することが好ましく、有機絶縁膜が好適である。有機絶縁膜に用いることができる材料として、アクリル樹脂、ポリイミド樹脂、エポキシ樹脂、ポリアミド樹脂、ポリイミドアミド樹脂、シロキサン樹脂、ベンゾシクロブテン系樹脂、フェノール樹脂、及びこれら樹脂の前駆体等が挙げられる。また、絶縁層235を、有機絶縁膜と、無機絶縁膜との積層構造にしてもよい。絶縁層235の最表層は、エッチング保護層としての機能を有することが好ましい。これにより、画素電極111R、111G、111Bなどの加工時に、絶縁層235に凹部が形成されることを抑制することができる。または、絶縁層235には、画素電極111R、111G、111Bなどの加工時に、凹部が設けられてもよい。

[0624]

絶縁層235上に、発光素子130R、130G、130Bが設けられている。

[0625]

発光素子130Rは、絶縁層235上の画素電極111Rと、画素電極111R上のEL層113Rと、EL層113R上の共通電極115と、を有する。図40Aに示す発光素子130Rは、赤色の光(R)を発する。EL層113Rは、赤色の光を発する発光層を有する。

[0626]

発光素子130Gは、絶縁層235上の画素電極111Gと、画素電極111G上のEL層113Gと、EL層113G上の共通電極115と、を有する。図40Aに示す発光素子130Gは、緑色の光(G)を発する。EL層113Gは、緑色の光を発する発光層を有する。

[0627]

発光素子130Bは、絶縁層235上の画素電極111Bと、画素電極111B上のEL層113Bと、EL層113B上の共通電極115と、を有する。図40Aに示す発光素子130Bは、青色の光(B)を発する。EL層113Bは、青色の光を発する発光層を有する。

[0628]

なお、図40Aでは、EL層113R、113G、113Bを全て同じ厚さで示すが、これに限られない。EL層113R、113G、113Bのそれぞれの厚さは異なってもよい。例えば、EL層113R、113G、113Bは、それぞれの発する光が強まる光路長となるように、厚さを設定することが好ましい。これにより、マイクロキャビティ構造を実現し、各発光素子から射出される光の色純度を高めることができる。

[0629]

画素電極111Rは、絶縁層106、絶縁層218、及び絶縁層235に設けられた開口部を介して、トランジスタ205Rが有する導電層112bと電氣的に接続されている。同様に、画素電極111Gは、トランジスタ205Gが有する導電層112bと電氣的に接続され、画素電極111Bは、トランジスタ205Bが有する導電層112bと電氣的に接続されている。

[0630]

画素電極111R、111G、111Bのそれぞれの端部は、絶縁層237によって覆われている。絶縁層237は、隔壁として機能する。絶縁層237は、無機絶縁材料及び有機絶縁材料の一方または双方を用いて、単層構造または積層構造で設けることができる。絶縁層237には、例えば、絶縁層218に用いることができる材料及び絶縁層235に用いることができる材料を適用できる。絶縁層237により、画素電極と共通電極とを電氣的に絶縁することができる。また、絶縁層237により、隣接する発光素子同士を電氣的に絶縁することができる。

[0631]

絶縁層237は、少なくとも表示部162に設けられる。絶縁層237は、表示部162だけでなく、接続部140及び回路部164に設けられていてもよい。また、絶縁層237は、表示装置50Aの端部にまで設けられていてもよい。

[0632]

共通電極115は、発光素子130R、130G、130Bに共通して設けられる一続きの膜である。複数の発光素子が共通して有する共通電極115は、接続部140に設けられた導電層123と電氣的に接続される。導電層123には、画素電極111R、111G、111Bと同じ材料及び同

じ工程で形成された導電層を用いることが好ましい。

[0633]

本発明の一態様の表示装置において、画素電極と共通電極のうち、光を取り出す側の電極には、可視光を透過する導電膜を用いる。また、光を取り出さない側の電極には、可視光を反射する導電膜を用いることが好ましい。

[0634]

光を取り出さない側の電極にも可視光を透過する導電膜を用いてもよい。この場合、反射層と、EL層との間に当該電極を配置することが好ましい。つまり、EL層の発光は、当該反射層によって反射されて、表示装置から取り出されてもよい。

[0635]

発光素子の一对の電極を形成する材料として、金属、合金、電気伝導性化合物、及びこれらの混合物などを適宜用いることができる。当該材料として、具体的には、アルミニウム、マグネシウム、チタン、クロム、マンガン、鉄、コバルト、ニッケル、銅、ガリウム、亜鉛、インジウム、スズ、モリブデン、タンタル、タンゲステン、パラジウム、金、白金、銀、イットリウム、ネオジムなどの金属、及びこれらを適宜組み合わせる含む合金が挙げられる。また、当該材料として、インジウムスズ酸化物（In-Sn酸化物、ITOともいう）、In-Si-Sn酸化物（ITSOともいう）、インジウム亜鉛酸化物（In-Zn酸化物）、及びIn-W-Zn酸化物などを挙げることができる。また、当該材料として、アルミニウム、ニッケル、及びランタンの合金（Al-Ni-La）等のアルミニウムを含む合金（アルミニウム合金）、並びに、銀とマグネシウムの合金、及び、銀とパラジウムと銅の合金（Ag-Pd-Cu、APCとも記す）等の銀を含む合金が挙げられる。その他、当該材料として、上記例示のない元素周期表の第1族または第2族に属する元素（例えば、リチウム、セシウム、カルシウム、ストロンチウム）、ユウロピウム、イッテルビウムなどの希土類金属及びこれらを適宜組み合わせる含む合金、グラフェン等が挙げられる。

[0636]

発光素子には、微小光共振器（マイクロキャビティ）構造が適用されていることが好ましい。したがって、発光素子が有する一对の電極の一方は、可視光に対する透過性及び反射性を有する電極（半透過・半反射電極）であることが好ましく、他方は、可視光に対する反射性を有する電極（反射電極）であることが好ましい。発光素子がマイクロキャビティ構造を有することで、発光層から得られる発光を両電極間で共振させ、発光素子から射出される光を強めることができる。

[0637]

透明電極の光の透過率は、40%以上とする。例えば、発光素子の透明電極には、可視光（波長400nm以上750nm未満の光）の透過率が40%以上である電極を用いることが好ましい。半透過・半反射電極の可視光の反射率は、10%以上95%以下、好ましくは30%以上80%以下とする。反射電極の可視光の反射率は、40%以上100%以下、好ましくは70%以上100%以下とする。また、これらの電極の電気抵抗率は、 $1 \times 10^{-2} \Omega \text{cm}$ 以下が好ましい。

[0638]

EL層113R、113G、113Bは、それぞれ、島状に設けられている。図40Aでは、隣り合うEL層113Rの端部とEL層113Gの端部とが重なっており、隣り合うEL層113Gの端部とEL層113Bの端部とが重なっており、隣り合うEL層113Rの端部とEL層113Bの端部とが重なっている。ファインメタルマスクを用いて島状のEL層を成膜する場合、図40Aに

示すように、隣り合うEL層の端部同士が重なることがあるが、これに限られない。つまり、隣り合うEL層同士は重ならず、互いに離隔されていてもよい。また、表示装置において、隣り合うEL層同士が重なっている部分と、隣り合うEL層同士が重ならず離隔されている部分と、の双方が存在してもよい。

[0639]

EL層113R、113G、113Bは、それぞれ、少なくとも発光層を有する。発光層は、1種または複数種の発光物質を有する。発光物質として、青色、紫色、青紫色、緑色、黄緑色、黄色、橙色、または赤色などの発光色を呈する物質を適宜用いる。また、発光物質として、近赤外光を発する物質を用いることもできる。

[0640]

発光物質として、蛍光材料、燐光材料、TADF材料、及び量子ドット材料などが挙げられる。

[0641]

発光層は、発光物質（ゲスト材料）に加えて、1種または複数種の有機化合物（ホスト材料、アシスト材料等）を有していてもよい。1種または複数種の有機化合物として、正孔輸送性の高い物質（正孔輸送性材料）及び電子輸送性の高い物質（電子輸送性材料）の一方または双方を用いることができる。また、1種または複数種の有機化合物として、バイポーラ性の物質（電子輸送性及び正孔輸送性が高い物質）、またはTADF材料を用いてもよい。

[0642]

発光層は、例えば、燐光材料と、励起錯体を形成しやすい組み合わせである正孔輸送性材料及び電子輸送性材料と、を有することが好ましい。このような構成とすることにより、励起錯体から発光物質（燐光材料）へのエネルギー移動であるExTET（Exciplex-Triplet Energy Transfer）を用いた発光を効率よく得ることができる。発光物質の最も低エネルギー側の吸収帯の波長と重なるような発光を呈する励起錯体を形成するような組み合わせを選択することで、エネルギー移動がスムーズとなり、効率よく発光を得ることができる。この構成により、発光素子の高効率、低電圧駆動、長寿命を同時に実現できる。

[0643]

EL層は、発光層の他に、正孔注入性の高い物質を含む層（正孔注入層）、正孔輸送性材料を含む層（正孔輸送層）、電子ブロック性の高い物質を含む層（電子ブロック層）、電子注入性の高い物質を含む層（電子注入層）、電子輸送性材料を含む層（電子輸送層）、及び、正孔ブロック性の高い物質を含む層（正孔ブロック層）のうち一つまたは複数有することができる。その他、EL層は、バイポーラ性の物質及びTADF材料の一方または双方を含んでもよい。

[0644]

発光素子には低分子化合物及び高分子化合物のいずれを用いることもでき、無機化合物を含んでもよい。発光素子を構成する層は、それぞれ、蒸着法（真空蒸着法を含む）、転写法、印刷法、インクジェット法、塗布法等の方法で形成することができる。

[0645]

発光素子には、シングル構造（発光ユニットを1つだけ有する構造）を適用してもよく、タンデム構造（発光ユニットを複数有する構造）を適用してもよい。発光ユニットは、少なくとも1層の発光層を有する。タンデム構造は、複数の発光ユニットが電荷発生層を介して直列に接続された構成である。電荷発生層は、一対の電極間に電圧を印加したときに、2つの発光ユニットの一方に電子を注入

し、他方に正孔を注入する機能を有する。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とすることができる。また、タンデム構造は、シングル構造と比べて、同じ輝度を得るために必要な電流を小さくすることができるため、信頼性を高めることができる。なお、タンデム構造をスタック構造と呼ぶことができる。

[0646]

図40Aにおいて、タンデム構造の発光素子を用いる場合、EL層113Rは、赤色の光を発する発光ユニットを複数有する構造であり、EL層113Gは、緑色の光を発する発光ユニットを複数有する構造であり、EL層113Bは、青色の光を発する発光ユニットを複数有する構造であると好ましい。

[0647]

発光素子130R、130G、130B上には保護層131が設けられている。保護層131と基板152は接着層142を介して接着されている。基板152には、遮光層117が設けられている。発光素子の封止には、例えば、固体封止構造または中空封止構造が適用できる。図40Aでは、基板152と基板151との間の空間が、接着層142で充填されており、固体封止構造が適用されている。または、当該空間を不活性ガス（窒素またはアルゴンなど）で充填し、中空封止構造を適用してもよい。このとき、接着層142は、発光素子と重ならないように設けられていてもよい。また、当該空間を、棒状に設けられた接着層142とは異なる樹脂で充填してもよい。

[0648]

保護層131は、少なくとも表示部162に設けられており、表示部162全体を覆うように設けられていることが好ましい。保護層131は、表示部162だけでなく、接続部140及び回路部164を覆うように設けられていることが好ましい。また、保護層131は、表示装置50Aの端部にまで設けられていることが好ましい。一方で、接続部197には、FPC172と導電層166とを電気的に接続させるため、保護層131が設けられていない部分が生じる。

[0649]

発光素子130R、130G、130B上に保護層131を設けることで、発光素子の信頼性を高めることができる。

[0650]

保護層131は単層構造、または2層以上の積層構造とすることができる。また、保護層131の導電性は問わない。保護層131として、絶縁膜、半導体膜、及び、導電膜の少なくとも一種を用いることができる。

[0651]

保護層131が無機膜を有することで、共通電極115が酸化されることを防止する、発光素子に不純物（水分及び酸素等）が入り込むことを抑制する、等、発光素子の劣化を抑制し、表示装置の信頼性を高めることができる。

[0652]

保護層131には、1層以上の無機絶縁層を有することが好ましい。保護層131は、絶縁層110に用いることができる材料を用いることができる。特に、保護層131は、窒化物または窒化酸化物を用いることが好ましく、窒化物を用いることがより好ましい。

[0653]

保護層131には、ITO、In-Zn酸化物、Ga-Zn酸化物、Al-Zn酸化物、またはI

GZO等を含む無機膜を用いることもできる。当該無機膜は、高抵抗であることが好ましく、具体的には、共通電極115よりも高抵抗であることが好ましい。当該無機膜は、さらに窒素を含んでいてもよい。

[0654]

発光素子の発光を、保護層131を介して取り出す場合、保護層131は、可視光に対する透過性が高いことが好ましい。例えば、ITO、IGZO、及び、酸化アルミニウムは、それぞれ、可視光に対する透過性が高い無機材料であるため、好ましい。

[0655]

保護層131として、例えば、酸化アルミニウム膜と、酸化アルミニウム膜上の窒化シリコン膜と、の積層構造、または、酸化アルミニウム膜と、酸化アルミニウム膜上のIGZO膜と、の積層構造を用いることができる。当該積層構造を用いることで、不純物（水及び酸素等）がEL層側に入り込むことを抑制できる。

[0656]

さらに、保護層131は、有機膜を有していてもよい。例えば、保護層131は、有機膜と無機膜の双方を有していてもよい。保護層131に用いることができる有機膜として、例えば、絶縁層235に用いることができる有機絶縁膜などが挙げられる。

[0657]

基板151の、基板152が重ならない領域には、接続部197が設けられている。接続部197では、導電層165が、導電層166及び接続層242を介してFPC172と電気的に接続されている。導電層165は、導電層112bと同じ導電膜を加工して得られた導電層である例を示す。導電層166は、画素電極111R、111G、111Bと同一の導電膜を加工して得られた導電層である例を示す。導電層165と導電層166との接続部には、画素電極111と導電層112bとの接続部と同様の構成を適用できる。具体的には、図40Aでは、導電層165の上層に開口部が設けられ、当該開口部を介して、導電層166が導電層165の上面と接する例を示している。接続部197の上面では、導電層166が露出している。これにより、接続部197とFPC172とを接続層242を介して電気的に接続することができる。

[0658]

表示装置50Aは、トップエミッション型である。発光素子が発する光は、基板152側に射出される。基板152には、可視光に対する透過性が高い材料を用いることが好ましい。画素電極111R、111G、111Bは可視光を反射する材料を含み、対向電極（共通電極115）は可視光を透過する材料を含む。

[0659]

基板152の基板151側の面には、遮光層117を設けることが好ましい。遮光層117は、隣り合う発光素子の間、接続部140、及び、回路部164などに設けることができる。

[0660]

基板152の基板151側の面、または、保護層131上に、カラーフィルタなどの着色層を設けてもよい。発光素子に重ねてカラーフィルタを設けると、画素から射出される光の色純度を高めることができる。

[0661]

着色層は特定の波長域の光を選択的に透過し、他の波長域の光を吸収する有色層である。例えば、

赤色の波長域の光を透過する赤色（R）のカラーフィルタ、緑色の波長域の光を透過する緑色（G）のカラーフィルタ、青色の波長域の光を透過する青色（B）のカラーフィルタなどを用いることができる。各着色層には、金属材料、樹脂材料、顔料、染料のうち一つまたは複数を用いることができる。着色層は、印刷法、インクジェット法、フォトリソグラフィ法を用いたエッチング方法などでそれぞれ所望の位置に形成する。

## [0662]

基板152の外側（基板151とは反対側の面）には各種光学部材を配置することができる。光学部材として、例えば、偏光板、位相差板、光拡散層（拡散フィルムなど）、反射防止層、及び集光フィルムが挙げられる。また、基板152の外側には、ゴミの付着を抑制する帯電防止膜、汚れを付着しにくくする撥水性の膜、使用に伴う傷の発生を抑制するハードコート膜、衝撃吸収層等の表面保護層を配置してもよい。例えば、表面保護層として、ガラス層またはシリカ層（ $\text{SiO}_x$ 層）を設けることで、表面汚染及び傷の発生を抑制することができ、好ましい。また、表面保護層として、DLC（ダイヤモンドライクカーボン）、酸化アルミニウム（ $\text{AlO}_x$ ）、ポリエステル系材料、またはポリカーボネート系材料などを用いてもよい。なお、表面保護層には、可視光に対する透過率が高い材料を用いることが好ましい。また、表面保護層には、硬度が高い材料を用いることが好ましい。

## [0663]

基板151及び基板152として、それぞれ、ガラス、石英、セラミックス、サファイア、樹脂、金属、合金、半導体などを用いることができる。発光素子からの光を取り出す側の基板には、該光を透過する材料を用いる。基板151及び基板152に可撓性を有する材料を用いると、表示装置の可撓性を高め、フレキシブルディスプレイを実現することができる。また、基板151及び基板152の少なくとも一方として偏光板を用いてもよい。

## [0664]

基板151及び基板152として、それぞれ、ポリエチレンテレフタレート（PET）、ポリエチレンナフタレート（PEN）等のポリエステル樹脂、ポリアクリロニトリル樹脂、アクリル樹脂、ポリイミド樹脂、ポリメチルメタクリレート樹脂、ポリカーボネート（PC）樹脂、ポリエーテルスルホン（PES）樹脂、ポリアミド樹脂（ナイロン、アラミド等）、ポリシロキサン樹脂、シクロオレフィン樹脂、ポリスチレン樹脂、ポリアミドイミド樹脂、ポリウレタン樹脂、ポリ塩化ビニル樹脂、ポリ塩化ビニリデン樹脂、ポリプロピレン樹脂、ポリテトラフルオロエチレン（PTFE）樹脂、ABS樹脂、セルロースナノファイバー等を用いることができる。基板151及び基板152の少なくとも一方に、可撓性を有する程度の厚さのガラスを用いてもよい。

## [0665]

なお、表示装置に円偏光板を重ねる場合、表示装置が有する基板には、光学等方性の高い基板を用いることが好ましい。光学等方性が高い基板は、複屈折が小さい（複屈折量が小さい、ともいえる）。光学等方性が高いフィルムとして、トリアセチルセルロース（TAC、セルローストリアセテートともいう）フィルム、シクロオレフィンポリマー（COP）フィルム、シクロオレフィンコポリマー（COC）フィルム、及びアクリルフィルム等が挙げられる。

## [0666]

接着層142として、紫外線硬化型等の光硬化型接着剤、反応硬化型接着剤、熱硬化型接着剤、嫌気型接着剤など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(ポリビニルブチラール)樹脂、EVA(エチレンビニルアセテート)樹脂等が挙げられる。特に、エポキシ樹脂等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、接着シート等を用いてもよい。

[0667]

接続層242として、異方性導電フィルム(ACF:Anisotropic Conductive Film)、異方性導電ペースト(ACP:Anisotropic Conductive Paste)などを用いることができる。

[0668]

<表示装置50B>

図40Bに、表示装置50Bの表示部162の断面の一例を示す。表示装置50Bは、各色の副画素に、共通のEL層113を有する発光素子と、着色層(カラーフィルタなど)と、が用いられている点で、表示装置50Aと主に異なる。図40Bに示す構成は、図40Aに示す、FPC172を含む領域、回路部164、表示部162の基板151から絶縁層235までの積層構造、接続部140、及び、端部の構成と、組み合わせることができる。なお、以降の表示装置の説明では、先に説明した表示装置と同様の部分については説明を省略することがある。

[0669]

図40Bに示す表示装置50Bは、発光素子130R、130G、130B、赤色の光を透過する着色層132R、緑色の光を透過する着色層132G、及び、青色の光を透過する着色層132B等を有する。

[0670]

発光素子130Rは、画素電極111Rと、画素電極111R上のEL層113と、EL層113上の共通電極115と、を有する。発光素子130Rの発光は、着色層132Rを介して表示装置50Bの外部に赤色の光として取り出される。

[0671]

発光素子130Gは、画素電極111Gと、画素電極111G上のEL層113と、EL層113上の共通電極115と、を有する。発光素子130Gの発光は、着色層132Gを介して表示装置50Bの外部に緑色の光として取り出される。

[0672]

発光素子130Bは、画素電極111Bと、画素電極111B上のEL層113と、EL層113上の共通電極115と、を有する。発光素子130Bの発光は、着色層132Bを介して表示装置50Bの外部に青色の光として取り出される。

[0673]

発光素子130R、130G、130Bは、EL層113と、共通電極115と、をそれぞれ共有して有する。各色の副画素に共通のEL層113を設ける構成は、各色の副画素にそれぞれ異なるEL層を設ける構成に比べて、作製工程数の削減が可能である。

[0674]

例えば、図40Bに示す発光素子130R、130G、130Bは、白色の光を発する。発光素子130R、130G、130Bが発する白色の光が、着色層132R、132G、132Bを透過することで、所望の色の光を得ることができる。

[0675]

白色の光を発する発光素子は、2つ以上の発光層を含むことが好ましい。2つの発光層を用いて白色発光を得る場合、2つの発光層の発光色が補色の関係となるような発光層を選択することができる。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構成を得ることができる。また、3つ以上の発光層を用いて白色発光を得る場合、3つ以上の発光層の発光色が合わさることで、発光素子全体として白色発光する構成とすることができる。

[0676]

EL層113は、例えば、青色の光を発する発光物質を有する発光層、及び、青色よりも長波長の可視光を発する発光物質を有する発光層を有することが好ましい。EL層113は、例えば、黄色の光を発する発光層、及び、青色の光を発する発光層を有することが好ましい。または、EL層113は、例えば、赤色の光を発する発光層、緑色の光を発する発光層、及び、青色の光を発する発光層を有することが好ましい。

[0677]

白色の光を発する発光素子には、タンデム構造を用いることが好ましい。具体的には、黄色の光を発する発光ユニットと、青色の光を発する発光ユニットとを有する2段タンデム構造、赤色と緑色の光を発する発光ユニットと、青色の光を発する発光ユニットとを有する2段タンデム構造、青色の光を発する発光ユニットと、黄色、黄緑色、または緑色の光を発する発光ユニットと、青色の光を発する発光ユニットとをこの順で有する3段タンデム構造、または、青色の光を発する発光ユニットと、黄色、黄緑色、または緑色の光と、赤色の光とを発する発光ユニットと、青色の光を発する発光ユニットと、をこの順で有する3段タンデム構造などを適用することができる。例えば、発光ユニットの積層数と色の順番として、陽極側から、B、Yの2段構造、Bと発光ユニットXとの2段構造、B、Y、Bの3段構造、B、X、Bの3段構造が挙げられ、発光ユニットXにおける発光層の積層数と色の順番として、陽極側から、R、Yの2層構造、R、Gの2層構造、G、Rの2層構造、G、R、Gの3層構造、または、R、G、Rの3層構造などとすることができる。また、2つの発光層の間に他の層が設けられていてもよい。

[0678]

なお、マイクロキャビティ構造を適用することで、白色の光を発する構成の発光素子は、赤色、緑色、または青色などの特定の波長の光が強められて発光する場合もある。

[0679]

または、例えば、図40Bに示す発光素子130R、130G、130Bは、青色の光を発する。このとき、EL層113は、青色の光を発する発光層を1層以上有する。青色の光を呈する副画素11Bにおいては、発光素子130Bが発する青色の光を取り出すことができる。また、赤色の光を呈する副画素11R及び緑色の光を呈する副画素11Gにおいては、発光素子130Rまたは発光素子130Gと、基板152との間に、色変換層を設けることで、発光素子130Rまたは発光素子130Gが発する青色の光をより長波長の光に変換し、赤色または緑色の光を取り出すことができる。さらに、発光素子130R上には、色変換層と基板152との間に着色層132Rを設け、発光素子130G上には、色変換層と基板152との間に着色層132Gを設けることが好ましい。発光素子が発する光の一部は、色変換層で変換されずにそのまま透過してしまうことがある。色変換層を透過した光を、着色層を介して取り出すことで、所望の色の光以外を着色層で吸収し、副画素が呈する光の色純度を高めることができる。

[0680]

<表示装置50C>

図41に示す表示装置50Cは、ボトムエミッション型の表示装置である点で、表示装置50Bと主に相違する。

[0681]

発光素子が発する光は、基板151側に射出される。基板151には、可視光に対する透過性が高い材料を用いることが好ましい。一方、基板152に用いる材料の透光性は問わない。

[0682]

基板151とトランジスタとの間には、遮光層117を形成することが好ましい。図41では、基板151上に遮光層117が設けられ、遮光層117上に絶縁層153が設けられ、絶縁層153上にトランジスタ205D、トランジスタ205R(図示しない)、トランジスタ205G、及びトランジスタ205Bなどが設けられている例を示す。また、絶縁層218上に、着色層132R、着色層132G、及び着色層132Bが設けられ、着色層132R、着色層132G、及び着色層132B上に絶縁層235が設けられている。

[0683]

着色層132Rと重なる発光素子130Rは、画素電極111Rと、EL層113と、共通電極115と、を有する。

[0684]

着色層132Gと重なる発光素子130Gは、画素電極111Gと、EL層113と、共通電極115と、を有する。

[0685]

着色層132Bと重なる発光素子130Bは、画素電極111Bと、EL層113と、共通電極115と、を有する。

[0686]

画素電極111R、111G、111Bには、それぞれ、可視光に対する透過性が高い材料を用いる。共通電極115には可視光を反射する材料を用いることが好ましい。ボトムエミッション型の表示装置では、共通電極115に電気抵抗率の低い金属等を用いることができるため、共通電極115の電気抵抗に起因する電圧降下が生じることを抑制でき、高い表示品位を実現できる。

[0687]

本発明の一態様のトランジスタは微細化が可能であり、占有面積を小さくできるため、ボトムエミッション構造の表示装置において、画素の開口率を高めること、または、画素のサイズを小さくすることができる。

[0688]

<表示装置50D>

図42Aに示す表示装置50Dは、受光素子130Sを有する点で、表示装置50Aと主に相違する。

[0689]

表示装置50Dは、画素に、発光素子と受光素子を有する。表示装置50Dにおいて、発光素子として有機EL素子を用い、受光素子として有機フォトダイオードを用いることが好ましい。有機EL素子及び有機フォトダイオードは、同一基板上に形成することができる。したがって、有機EL素子

を用いた表示装置に有機フォトダイオードを内蔵することができる。

[0690]

画素に、発光素子及び受光素子を有する表示装置50Dでは、画素が受光機能を有するため、画像を表示しながら、対象物の接触または近接を検出することができる。したがって、表示部162は、画像表示機能に加えて、撮像機能及びセンシング機能の一方または双方を有する。例えば、表示装置50Dが有する副画素全てで画像を表示するだけでなく、一部の副画素は、光源としての光を呈し、他の一部の副画素で光検出を行い、残りの副画素で画像を表示することもできる。

[0691]

したがって、表示装置50Dと別に受光部及び光源を設けなくてもよく、電子機器の部品点数を削減することができる。例えば、電子機器に設けられる生体認証装置、またはスクロールなどを行うための静電容量方式のタッチパネルなどを別途設ける必要がない。したがって、表示装置50Dを用いることで、製造コストが低減された電子機器を提供することができる。

[0692]

受光素子をイメージセンサに用いる場合、表示装置50Dは、受光素子を用いて、画像を撮像することができる。例えば、イメージセンサを用いて、指紋、掌紋、虹彩、脈形状（静脈形状、動脈形状を含む）、または顔などを用いた個人認証のための撮像を行うことができる。

[0693]

受光素子は、タッチセンサ（ダイレクトタッチセンサともいう）または非接触センサ（ホバーセンサ、ホバータッチセンサ、タッチレスセンサともいう）などに用いることができる。タッチセンサは、表示装置と、対象物（指、手、またはペンなど）とが、直接接することで、対象物を検出できる。また、非接触センサは、対象物が表示装置に接触しなくても、当該対象物を検出することができる。

[0694]

受光素子130Sは、絶縁層235上の画素電極111Sと、画素電極111S上の機能層113Sと、機能層113S上の共通電極115と、を有する。機能層113Sには、表示装置50Dの外部から光Linが入射する。

[0695]

画素電極111Sは、絶縁層106、絶縁層218、及び絶縁層235に設けられた開口部を介して、トランジスタ205Sが有する導電層112bと電気的に接続されている。

[0696]

画素電極111Sの端部は、絶縁層237によって覆われている。

[0697]

共通電極115は、受光素子130S、発光素子130R（図示しない）、発光素子130G、及び、発光素子130Bに共通して設けられる一続きの膜である。発光素子と受光素子とが共通して有する共通電極115は、接続部140に設けられた導電層123と電気的に接続される。

[0698]

機能層113Sは、少なくとも活性層（光電変換層ともいう）を有する。活性層は、半導体を含む。当該半導体として、シリコンなどの無機半導体、及び、有機化合物を含む有機半導体が挙げられる。本実施の形態では、活性層が有する半導体として、有機半導体を用いる例を示す。有機半導体を用いることで、発光層と、活性層と、を同じ方法（例えば、真空蒸着法）で形成することができ、製造装置を共通化できるため好ましい。

[0699]

機能層113Sは、活性層以外の層として、正孔輸送性の高い物質、電子輸送性の高い物質、またはバイポーラ性の物質等を含む層をさらに有していてもよい。また、上記に限られず、正孔注入性の高い物質、正孔ブロック材料、電子注入性の高い物質、または電子ブロック材料などを含む層をさらに有していてもよい。機能層113Sには、例えば、上述の発光素子に用いることができる材料を用いることができる。

[0700]

受光素子には低分子化合物及び高分子化合物のいずれを用いることもでき、無機化合物を含んでいてもよい。受光素子を構成する層は、それぞれ、蒸着法（真空蒸着法を含む）、転写法、印刷法、インクジェット法、塗布法等の方法で形成することができる。

[0701]

図42B及び図42Cに示す表示装置50Dは、基板151と基板152との間に、受光素子を有する層353、回路層355、及び、発光素子を有する層357を有する。

[0702]

層353は、例えば、受光素子130Sを有する。層357は、例えば、発光素子130R、130G、130Bを有する。

[0703]

回路層355は、受光素子を駆動する回路、及び、発光素子を駆動する回路を有する。回路層355は、例えば、トランジスタ205R、205G、205Bを有する。その他、回路層355には、スイッチ、容量、抵抗、配線、及び端子などのうち一つまたは複数設けることができる。

[0704]

図42Bは、受光素子130Sをタッチセンサに用いる例である。図42Bに示すように、層357において発光素子が発した光を、表示装置50Dに接触した指352が反射することで、層353における受光素子はその反射光を検出する。これにより、表示装置50Dに指352が接触したことを検出することができる。

[0705]

図42Cは、受光素子130Sを非接触センサに用いる例である。図42Cに示すように、層357において発光素子が発した光を、表示装置50Dに近接している（つまり、接触していない）指352が反射することで、層353における受光素子はその反射光を検出する。

[0706]

&lt;表示装置50E&gt;

図43Aに示す表示装置50Eは、MML（メタルマスクレス）構造が適用された表示装置の一例である。つまり、表示装置50Eは、ファインメタルマスクを用いずに作製された発光素子を有する。

[0707]

MML構造が適用された表示装置が有する発光素子における島状の発光層は、発光層を一面に成膜した後、フォトリソグラフィ法を用いて加工することで形成される。したがって、これまで実現が困難であった高精細な表示装置または高開口率の表示装置を実現することができる。さらに、発光層を各色で作分けすることができるため、極めて鮮やかでコントラストが高く、表示品位の高い表示装置を実現できる。例えば、表示装置が、青色の光を発する発光素子、緑色の光を発する発光素子、及び赤色の光を発する発光素子の3種類で構成される場合、発光層の成膜、及び、フォトリソグラフィ

による加工を3回繰り返すことで、3種類の島状の発光層を形成することができる。

[0708]

MML構造のデバイスは、メタルマスクを用いることなく製造することができるため、メタルマスクの合わせ精度に起因する精細度の上限を超えることができる。また、メタルマスクを用いずにデバイスを作製する場合、メタルマスクの製造に係る設備、及び、メタルマスクの洗浄工程を不要にすることができる。また、フォトリソグラフィによる加工には、トランジスタを作製する際に用いる装置と共通または同様の装置を用いることができるため、MML構造のデバイスを作製するために特別な装置を導入する必要はない。このように、MML構造は、製造コストを低く抑えることが可能となるため、デバイスの大量生産に適している。

[0709]

MML構造が適用された表示装置では、例えば、ペントイル配列などの特殊な画素配列を適用し疑似的に精細度を高める必要がないため、R、G、Bの副画素をそれぞれ一方向に配列させた、いわゆるストライプ配列で、かつ、高精細（例えば500ppi以上、1000ppi以上、2000ppi以上、3000ppi以上、または5000ppi以上）の表示装置を実現することができる。

[0710]

発光層上に犠牲層を設けることで、表示装置の作製工程中に発光層が受けるダメージを低減し、発光素子の信頼性を高めることができる。

[0711]

エリアマスクを用いた成膜工程と、レジストマスクを用いた加工工程と、を採用することで、比較的簡単なプロセスにて発光素子を作製することができる。

[0712]

なお、基板151から絶縁層235までの積層構造、及び保護層131から基板152までの積層構造は、表示装置50Aと同様のため、説明を省略する。

[0713]

図43Aにおいて、絶縁層235上に、発光素子130R、130G、130Bが設けられている。

[0714]

発光素子130Rは、絶縁層235上の導電層124Rと、導電層124R上の導電層126Rと、導電層126R上の層133Rと、層133R上の共通層114と、共通層114上の共通電極115と、を有する。図43Aに示す発光素子130Rは、赤色の光（R）を発する。層133Rは、赤色の光を発する発光層を有する。発光素子130Rにおいて、層133R、及び、共通層114をまとめてEL層と呼ぶことができる。また、導電層124R及び導電層126Rのうち一方または双方を画素電極と呼ぶことができる。

[0715]

発光素子130Gは、絶縁層235上の導電層124Gと、導電層124G上の導電層126Gと、導電層126G上の層133Gと、層133G上の共通層114と、共通層114上の共通電極115と、を有する。図43Aに示す発光素子130Gは、緑色の光（G）を発する。層133Gは、緑色の光を発する発光層を有する。発光素子130Gにおいて、層133G、及び、共通層114をまとめてEL層と呼ぶことができる。また、導電層124G及び導電層126Gのうち一方または双方を画素電極と呼ぶことができる。

[0716]

発光素子130Bは、絶縁層235上の導電層124Bと、導電層124B上の導電層126Bと、導電層126B上の層133Bと、層133B上の共通層114と、共通層114上の共通電極115と、を有する。図43Aに示す発光素子130Bは、青色の光(B)を発する。層133Bは、青色の光を発する発光層を有する。発光素子130Bにおいて、層133B、及び、共通層114をまとめてEL層と呼ぶことができる。また、導電層124B及び導電層126Bのうち一方または双方を画素電極と呼ぶことができる。

[0717]

本明細書等では、発光素子が有するEL層のうち、発光素子ごとに島状に設けられた層を層133B、層133G、または層133Rと示し、複数の発光素子が共有して有する層を共通層114と示す。なお、本明細書等において、共通層114を含めず、層133R、層133G、及び層133Bを指して、島状のEL層、島状に形成されたEL層などと呼ぶ場合もある。また、メタルマスクを用いずに作製される発光素子は、共通層を有していなくてもよく、EL層を構成する全ての層が島状に形成されていてもよい。

[0718]

層133R、層133G、及び層133Bは、互いに離隔されている。EL層を発光素子ごとに島状に設けることで、隣接する発光素子間のリーク電流を抑制することができる。これにより、クロストークに起因した意図しない発光を防ぐことができ、コントラストの極めて高い表示装置を実現できる。

[0719]

なお、図43Aでは、層133R、133G、133Bを全て同じ厚さで示すが、これに限られない。層133R、133G、133Bのそれぞれの厚さは異なってもよい。

[0720]

導電層124Rは、絶縁層106、絶縁層218、及び絶縁層235に設けられた開口部を介して、トランジスタ205Rが有する導電層112bと電氣的に接続されている。同様に、導電層124Gは、トランジスタ205Gが有する導電層112bと電氣的に接続され、導電層124Bは、トランジスタ205Bが有する導電層112bと電氣的に接続されている。

[0721]

導電層124R、124G、124Bは、絶縁層235に設けられた開口部を覆うように形成される。導電層124R、124G、124Bの凹部には、それぞれ、層128が埋め込まれている。

[0722]

層128は、導電層124R、124G、124Bの凹部を平坦化する機能を有する。導電層124R、124G、124B及び層128上には、導電層124R、124G、124Bと電氣的に接続される導電層126R、126G、126Bが設けられている。したがって、導電層124R、124G、124Bの凹部と重なる領域も発光領域として使用でき、画素の開口率を高めることができる。導電層124R及び導電層126Rに反射電極として機能する導電層を用いることが好ましい。

[0723]

層128は、絶縁層であってもよく、導電層であってもよい。層128には、各種無機絶縁材料、有機絶縁材料、及び導電材料を適宜用いることができる。特に、層128は、絶縁材料を用いて形成されることが好ましく、有機絶縁材料を用いて形成されることが特に好ましい。層128には、例えば前述の絶縁層237に用いることができる有機絶縁材料を適用することができる。

[0724]

図43Aでは、層128の上面が平坦部を有する例を示すが、層128の形状は、特に限定されない。層128の上面は、凸曲面、凹曲面、及び平面の少なくとも一つを有することができる。

[0725]

層128の上面の高さと、導電層124Rの上面の高さとは、一致または概略一致していてもよく、互いに異なってもよい。例えば、層128の上面の高さは、導電層124Rの上面の高さより低くてもよく、高くてもよい。

[0726]

導電層126Rの端部は、導電層124Rの端部と揃っていてもよく、導電層124Rの端部の側面を覆っていてもよい。導電層124R及び導電層126Rのそれぞれの端部は、テーパ形状を有することが好ましい。具体的には、導電層124R及び導電層126Rのそれぞれの端部はテーパ角が0度より大きく90度未満のテーパ形状を有することが好ましい。画素電極の端部がテーパ形状を有する場合、画素電極の側面に沿って設けられる層133Rは、傾斜部を有する。画素電極の側面をテーパ形状とすることで、画素電極の側面に沿って設けられるEL層の被覆性を良好にすることができる。

[0727]

導電層124G、126G、及び、導電層124B、126Bについては、導電層124R、126Rと同様であるため詳細な説明は省略する。

[0728]

導電層126Rの上面及び側面は、層133Rによって覆われている。同様に、導電層126Gの上面及び側面は、層133Gによって覆われており、導電層126Bの上面及び側面は、層133Bによって覆われている。したがって、導電層126R、126G、126Bが設けられている領域全体を、発光素子130R、130G、130Bの発光領域として用いることができるため、画素の開口率を高めることができる。

[0729]

層133R、層133G、及び層133Bそれぞれの上面の一部及び側面は、絶縁層125、127によって覆われている。層133R、層133G、層133B、及び、絶縁層125、127上に、共通層114が設けられ、共通層114上に共通電極115が設けられている。共通層114及び共通電極115は、それぞれ、複数の発光素子に共通して設けられるひと続きの膜である。

[0730]

図43Aにおいて、導電層126Rと層133Rの間には、図40A等を示す絶縁層237が設けられていない。つまり、表示装置50Eには、画素電極に接し、かつ、画素電極の上面端部を覆う絶縁層（隔壁、バンク、スペーサなどともいう）が設けられていない。そのため、隣り合う発光素子の間隔を極めて狭くすることができる。したがって、高精細、または、高解像度の表示装置とすることができる。また、当該絶縁層を形成するためのマスクも不要となり、表示装置の製造コストを削減することができる。

[0731]

前述の通り、層133R、層133G、及び層133Bは、それぞれ、発光層を有する。層133R、層133G、及び層133Bは、それぞれ、発光層と、発光層上のキャリア輸送層（電子輸送層または正孔輸送層）と、を有することが好ましい。または、層133R、層133G、及び層133

Bは、それぞれ、発光層と、発光層上のキャリアブロック層（正孔ブロック層または電子ブロック層）と、を有することが好ましい。または、層133R、層133G、及び層133Bは、それぞれ、発光層と、発光層上のキャリアブロック層と、キャリアブロック層上のキャリア輸送層と、を有することが好ましい。層133R、層133G、及び層133Bの表面は、表示装置の作製工程中に露出するため、キャリア輸送層及びキャリアブロック層の一方または双方を発光層上に設けることで、発光層が最表面に露出することを抑制し、発光層が受けるダメージを低減することができる。これにより、発光素子の信頼性を高めることができる。

[0732]

共通層114は、例えば電子注入層、または正孔注入層を有する。または、共通層114は、電子輸送層と電子注入層とを積層して有していてもよく、正孔輸送層と正孔注入層とを積層して有していてもよい。共通層114は、発光素子130R、130G、130Bで共有されている。

[0733]

層133R、層133G、及び層133Bのそれぞれの側面は、絶縁層125によって覆われている。絶縁層127は、絶縁層125を介して、層133R、層133G、及び層133Bのそれぞれの側面を覆っている。

[0734]

層133R、層133G、及び層133Bの側面（さらには、上面の一部）が、絶縁層125及び絶縁層127の少なくとも一方によって覆われていることで、共通層114（または共通電極115）が、画素電極、及び、層133R、133G、133Bの側面と接することを抑制し、発光素子のショートを抑制することができる。これにより、発光素子の信頼性を高めることができる。

[0735]

絶縁層125は、層133R、層133G、及び層133Bのそれぞれの側面と接する領域を有することが好ましい。絶縁層125が層133R、層133G、及び層133Bと接する構成とすることで、層133R、層133G、及び層133Bの膜剥がれを防止でき、発光素子の信頼性を高めることができる。

[0736]

絶縁層127は、絶縁層125の凹部を充填するように、絶縁層125上に設けられる。絶縁層127は、絶縁層125の側面の少なくとも一部を覆うことが好ましい。

[0737]

絶縁層125及び絶縁層127を設けることで、隣り合う島状の層の間を埋めることができるため、島状の層上に設ける層（例えばキャリア注入層、及び共通電極など）の被形成面の高低差の大きな凹凸を低減し、より平坦にすることができる。したがって、キャリア注入層及び共通電極などの被覆性を高めることができる。

[0738]

共通層114及び共通電極115は、層133R、層133G、層133B、絶縁層125、及び絶縁層127上に設けられる。絶縁層125及び絶縁層127を設ける前の段階では、画素電極及び島状のEL層が設けられる領域と、画素電極及び島状のEL層が設けられない領域（発光素子間の領域）と、に起因する段差が生じている。本発明の一態様の表示装置は、絶縁層125及び絶縁層127を有することで当該段差を平坦化させることができ、共通層114及び共通電極115の被覆性を向上させることができる。したがって、段切れによる接続不良を抑制することができる。また、段

差によって共通電極 1 1 5 が局所的に薄膜化して電気抵抗が上昇することを抑制することができる。

[0739]

絶縁層 1 2 7 の上面は平坦性の高い形状を有することが好ましい。絶縁層 1 2 7 の上面は、平面、凸曲面、及び、凹曲面のうち、少なくとも一つを有していてもよい。例えば、絶縁層 1 2 7 の上面は、曲率半径の大きい凸曲面形状を有することが好ましい。

[0740]

絶縁層 1 2 5 は、単層構造または 2 層以上の積層構造とすることができる。絶縁層 1 2 5 は、1 層以上の無機絶縁層を有することが好ましい。絶縁層 1 2 5 は、絶縁層 1 1 0 に用いることができる材料を用いることができる。特に、酸化アルミニウムは、エッチングにおいて、EL 層との選択比が高く、絶縁層 1 2 7 の形成において EL 層を保護する機能を有するため好ましい。特に ALD 法により形成した酸化アルミニウム膜、酸化ハフニウム膜、または酸化シリコン膜等の無機絶縁膜を絶縁層 1 2 5 に適用することで、ピンホールが少なく、EL 層を保護する機能に優れた絶縁層 1 2 5 を形成することができる。また、絶縁層 1 2 5 は、ALD 法により形成した膜と、スパッタリング法により形成した膜と、の積層構造としてもよい。絶縁層 1 2 5 は、例えば、ALD 法によって形成された酸化アルミニウム膜と、スパッタリング法によって形成された窒化シリコン膜と、の積層構造であってもよい。

[0741]

絶縁層 1 2 5 は、水及び酸素の少なくとも一方に対するバリア絶縁層としての機能を有することが好ましい。絶縁層 1 2 5 は、水及び酸素の少なくとも一方の拡散を抑制する機能を有することが好ましい。また、絶縁層 1 2 5 は、水及び酸素の少なくとも一方を捕獲、または固着する（ゲッターリング）機能を有することが好ましい。

[0742]

絶縁層 1 2 5 が、バリア絶縁層としての機能を有することで、外部から各発光素子に拡散しうる不純物（代表的には、水及び酸素の少なくとも一方）の侵入を抑制することが可能な構成となる。当該構成とすることで、信頼性の高い発光素子、さらには、信頼性の高い表示装置を提供することができる。

[0743]

絶縁層 1 2 5 は、不純物濃度が低いことが好ましい。これにより、絶縁層 1 2 5 から EL 層に不純物が混入し、EL 層が劣化することを抑制することができる。また、絶縁層 1 2 5 において、不純物濃度を低くすることで、水及び酸素の少なくとも一方に対するバリア性を高めることができる。例えば、絶縁層 1 2 5 は、水素濃度及び炭素濃度の一方、好ましくは双方が十分に低いことが望ましい。

[0744]

絶縁層 1 2 5 上に設けられる絶縁層 1 2 7 は、隣接する発光素子間に形成された絶縁層 1 2 5 の高低差の大きな凹凸を平坦化する機能を有する。換言すると、絶縁層 1 2 7 を有することで共通電極 1 1 5 を形成する面の平坦性を向上させる効果を奏する。

[0745]

絶縁層 1 2 7 として、有機材料を有する絶縁層を好適に用いることができる。有機材料として、感光性の樹脂を用いることが好ましく、例えば、アクリル樹脂を含む感光性の樹脂組成物を用いることが好ましい。なお、本明細書などにおいて、アクリル樹脂とは、ポリメタクリル酸エステル、またはメタクリル樹脂だけを指すものではなく、広義のアクリル系ポリマー全体を指す場合がある。

[0746]

絶縁層127として、アクリル樹脂、ポリアミド樹脂、エポキシ樹脂、イミド樹脂、ポリアミド樹脂、ポリアミドアミド樹脂、シリコーン樹脂、シロキサン樹脂、ベンゾシクロブテン系樹脂、フェノール樹脂、及びこれら樹脂の前駆体等を用いてもよい。また、絶縁層127として、ポリビニルアルコール(PVA)、ポリビニルブチラール、ポリビニルピロリドン、ポリエチレングリコール、ポリグリセリン、プルラン、水溶性のセルロース、またはアルコール可溶性のポリアミド樹脂等の有機材料を用いてもよい。また、感光性の樹脂としてフォトレジストを用いてもよい。感光性の樹脂として、ポジ型の材料及びネガ型の材料のどちらを用いてもよい。

[0747]

絶縁層127には可視光を吸収する材料を用いてもよい。絶縁層127が発光素子からの発光を吸収することで、発光素子から絶縁層127を介して隣接する発光素子に光が漏れること(迷光)を抑制することができる。これにより、表示装置の表示品位を高めることができる。また、表示装置に偏光板を用いなくても、表示品位を高めることができるため、表示装置の軽量化及び薄型化を図ることができる。

[0748]

可視光を吸収する材料として、黒色などの顔料を含む材料、染料を含む材料、光吸収性を有する樹脂材料(例えばポリアミドなど)、及び、カラーフィルタに用いることのできる樹脂材料(カラーフィルタ材料)が挙げられる。特に、2色、または3色以上のカラーフィルタ材料を積層または混合した樹脂材料を用いると、可視光の遮蔽効果を高めることができるため好ましい。特に3色以上のカラーフィルタ材料を混合させることで、黒色または黒色近傍の樹脂層とすることが可能となる。

[0749]

&lt;表示装置50F&gt;

図43Bに、表示装置50Fの表示部162の断面の一例を示す。表示装置50Fは、各色の副画素に、着色層(カラーフィルタなど)が設けられている点で、表示装置50Eと主に異なる。図43Bに示す構成は、図43Aに示す、FPC172を含む領域、回路部164、表示部162の基板151から絶縁層235までの積層構造、接続部140、及び、端部の構成と、組み合わせることができる。

[0750]

図43Bに示す表示装置50Fは、発光素子130R、130G、130B、赤色の光を透過する着色層132R、緑色の光を透過する着色層132G、及び、青色の光を透過する着色層132B等を有する。

[0751]

発光素子130Rの発光は、着色層132Rを介して表示装置50Fの外部に赤色の光として取り出される。同様に、発光素子130Gの発光は、着色層132Gを介して表示装置50Fの外部に緑色の光として取り出される。発光素子130Bの発光は、着色層132Bを介して表示装置50Fの外部に青色の光として取り出される。

[0752]

発光素子130R、130G、130Bは、それぞれ、層133を有する。これら3つの層133は、同じ材料を用いて、同じ工程で形成される。また、これら3つの層133は、互いに離隔されている。EL層を発光素子ごとに島状に設けることで、隣接する発光素子間のリーク電流を抑制するこ

とができる。これにより、クロストークに起因した意図しない発光を防ぐことができ、コントラストの極めて高い表示装置を実現できる。

[0753]

例えば、図43Bに示す発光素子130R、130G、130Bは、白色の光を発する。発光素子130R、130G、130Bが発する白色の光が、着色層132R、132G、132Bを透過することで、所望の色の光を得ることができる。

[0754]

または、例えば、図43Bに示す発光素子130R、130G、130Bは、青色の光を発する。このとき、層133は、青色の光を発する発光層を1層以上有する。青色の光を呈する副画素11Bにおいては、発光素子130Bが発する青色の光を取り出すことができる。また、赤色の光を呈する副画素11R及び緑色の光を呈する副画素11Gにおいては、発光素子130Rまたは発光素子130Gと、基板152との間に、色変換層を設けることで、発光素子130Rまたは発光素子130Gが発する青色の光をより長波長の光に変換し、赤色または緑色の光を取り出すことができる。さらに、発光素子130R上には、色変換層と基板152との間に着色層132Rを設け、発光素子130G上には、色変換層と基板152との間に着色層132Gを設けることが好ましい。色変換層を透過した光を、着色層を介して取り出すことで、所望の色の光以外を着色層で吸収し、副画素が呈する光の色純度を高めることができる。

[0755]

<表示装置50G>

図44に示す表示装置50Gは、ボトムエミッション型の表示装置である点で、表示装置50Fと主に相違する。

[0756]

発光素子が発する光は、基板151側に射出される。基板151には、可視光に対する透過性が高い材料を用いることが好ましい。一方、基板152に用いる材料の透光性は問わない。

[0757]

基板151とトランジスタとの間には、遮光層117を形成することが好ましい。図44では、基板151上に遮光層117が設けられ、遮光層117上に絶縁層153が設けられ、絶縁層153上にトランジスタ205D、トランジスタ205R（図示しない）、トランジスタ205G、及びトランジスタ205Bなどが設けられている例を示す。また、絶縁層218上に、着色層132R、着色層132G、及び着色層132Bが設けられ、着色層132R、着色層132G、及び着色層132B上に絶縁層235が設けられている。

[0758]

着色層132Rと重なる発光素子130Rは、導電層124Rと、導電層126Rと、層133と、共通層114と、共通電極115と、を有する。

[0759]

着色層132Gと重なる発光素子130Gは、導電層124Gと、導電層126Gと、層133と、共通層114と、共通電極115と、を有する。

[0760]

着色層132Bと重なる発光素子130Bは、導電層124Bと、導電層126Bと、層133と、共通層114と、共通電極115と、を有する。

[0761]

導電層124R、124G、124B、126R、126G、126Bには、それぞれ、可視光に対する透過性が高い材料を用いる。共通電極115には可視光を反射する材料を用いることが好ましい。ボトムエミッション型の表示装置では、共通電極115に電気抵抗率の低い金属等を用いることができるため、共通電極115の電気抵抗に起因する電圧降下が生じることを抑制でき、高い表示品位を実現できる。

[0762]

本発明の一態様のトランジスタは微細化が可能であり、占有面積を小さくできるため、ボトムエミッション構造の表示装置において、画素の開口率を高めること、または、画素のサイズを小さくすることができる。

[0763]

<表示装置50H>

図45に示す表示装置50Hは、VAモードの液晶表示装置である。

[0764]

基板151と基板152とは、接着層144によって貼り合わされている。また、基板151、基板152、及び接着層144に囲まれた領域に、液晶262が封止されている。基板152の外側の面には偏光板260aが位置し、基板151の外側の面には、偏光板260bが位置している。また、図示しないが、偏光板260aよりも外側、または偏光板260bよりも外側に、バックライトを設けることができる。

[0765]

基板151には、トランジスタ205D、205R、205G、接続部197、スペーサ224などが設けられている。トランジスタ205Dは、回路部164に設けられるトランジスタであり、トランジスタ205R、205Gは、表示部162に設けられるトランジスタである。トランジスタ205R、205Gが有する導電層112bは、液晶素子60の画素電極として機能する。

[0766]

基板152には、着色層132R、132G、遮光層117、絶縁層225、導電層263などが設けられている。導電層263は、液晶素子60の共通電極として機能する。

[0767]

トランジスタ205D、205R、205Gは、それぞれ、導電層112a、半導体層108、絶縁層106、導電層104、及び導電層112bを有する。導電層112aは、ソース電極及びドレイン電極の一方として機能し、導電層112bは、ソース電極及びドレイン電極の他方として機能する。導電層104は、ゲート電極として機能する。絶縁層106は、その一部がゲート絶縁層として機能する。

[0768]

前述の通り、本実施の形態では、トランジスタ205D、205R、205Gには、OSトランジスタを用いる例を示す。トランジスタ205D、205R、205Gには、本発明の一態様のトランジスタを用いることができる。つまり、表示装置50Hは、表示部162及び回路部164の双方に、本発明の一態様のトランジスタを有する。表示部162に本発明の一態様のトランジスタを用いることで、画素サイズを縮小でき、高精細化を図ることができる。また、回路部164に本発明の一態様のトランジスタを用いることで、回路部164の占有面積を小さくでき、狭額縁化を図ることがで

きる。本発明の一態様のトランジスタについては、先の実施の形態の記載を参照できる。

[0769]

トランジスタ205D、205R、205Gは、絶縁層218に覆われている。絶縁層218は、トランジスタ205D、205R、205Gの保護層として機能する。

[0770]

表示部162が有する副画素は、トランジスタと、液晶素子60と、着色層と、を有する。例えば、赤色の光を呈する副画素は、トランジスタ205Rと、液晶素子60と、赤色の光を透過する着色層132Rと、を有する。また、緑色の光を呈する副画素は、トランジスタ205Gと、液晶素子60と、緑色の光を透過する着色層132Gと、を有する。図示しないが、青色の光を呈する副画素は、同様に、トランジスタと、液晶素子60と、青色の光を透過する着色層と、を有する。

[0771]

液晶素子60は、導電層112bと、導電層263と、これらの間に挟持される液晶262とを有する。

[0772]

基板151上には、導電層112aと同一面上に位置する導電層264が設けられている。導電層264は、絶縁層110（絶縁層110a、絶縁層110b、及び、絶縁層110c）を介して導電層112bと重なる部分を有する。導電層112bと導電層264と、これらの間の絶縁層110により、保持容量が形成されている。なお、導電層112bと導電層264との間には絶縁層が一以上あればよく、絶縁層110のうちいずれか一または二がエッチングにより除去されていてもよい。

[0773]

基板152側において、着色層132R、132G、遮光層117を覆って絶縁層225が設けられている。絶縁層225は、平坦化層としての機能を有していてもよい。絶縁層225により、導電層263の表面を概略平坦にできるため、液晶262の配向状態を均一にできる。

[0774]

なお、導電層263、及び、絶縁層218等において、液晶262と接する面には、液晶262の配向を制御するための配向膜が設けられていてもよい（図47A及び図47Bにおける配向膜265を参照）。

[0775]

導電層112b及び導電層263は可視光を透過する。つまり、透過型の液晶装置とすることができる。例えばバックライトを基板152側に配置した場合、偏光板260aにより偏光されたバックライトからの光は、基板152、導電層263、液晶262、導電層112b、及び、基板151を透過し偏光板260bに達する。このとき、導電層112b及び導電層263の間に与える電圧によって液晶262の配向を制御し、光の光学変調を制御することができる。すなわち、偏光板260bを介して射出される光の強度を制御することができる。また入射される光は着色層によって特定の波長領域以外の光が吸収されることにより、取り出される光は例えば赤色を呈する光となる。

[0776]

ここで、偏光板260bとして直線偏光板を用いてもよいが、円偏光板を用いることもできる。円偏光板として、例えば直線偏光板と1/4波長位相差板を積層したものをを用いることができる。偏光板260bに円偏光板を用いることで、外光反射を抑制することができる。

[0777]

なお、偏光板260bとして円偏光板を用いた場合、偏光板260aにも円偏光板を用いてもよいし、通常の直線偏光板を用いることもできる。偏光板260a、偏光板260bに適用する偏光板の種類に応じて、液晶素子60に用いる液晶素子のセルギャップ、配向、駆動電圧等を調整することで、所望のコントラストを実現することができる。

[0778]

導電層263は、接続部140において、基板151側に設けられた導電層166bと接続体223により電氣的に接続されている。導電層166bは、絶縁層110に設けられた開口を介して、導電層165bと接続されている。これにより、基板151側に配置されるFPCまたはICから導電層263に電位または信号を供給することができる。図45に示す構成では、導電層165bは、導電層112aと同じ材料を用いて、同じ工程で形成される例を示し、導電層166bは、導電層112bと同じ材料を用いて、同じ工程で形成される例を示す。

[0779]

接続体223として、例えば導電性の粒子を用いることができる。導電性の粒子として、樹脂またはシリカなどの粒子の表面を金属材料で被覆したものをを用いることができる。金属材料としてニッケルまたは金を用いると接触抵抗を低減できるため好ましい。またニッケルをさらに金で被覆するなど、2種類以上の金属材料を層状に被覆させた粒子を用いることが好ましい。また接続体223として弾性変形、または塑性変形する材料を用いることが好ましい。このとき導電性の粒子は図45に示すように上下方向に潰れた形状となる場合がある。こうすることで接続体223と、これと電氣的に接続する導電層との接触面積が増大し、接触抵抗が低減できるほか、接続不良などの不具合の発生を抑制できる。接続体223は接着層144に覆われるように配置することが好ましい。例えば、硬化前の接着層144に接続体223を分散させることが好ましい。

[0780]

基板151の端部に近い領域には、接続部197が設けられている。接続部197では、導電層166aが接続層242を介してFPC172と電氣的に接続されている。導電層166aは、絶縁層110に設けられた開口を介して、導電層165aと接続されている。図45に示す構成では、導電層165aは、導電層112aと同じ材料を用いて、同じ工程で形成される例を示し、導電層166aは、導電層112bと同じ材料を用いて、同じ工程で形成される例を示す。

[0781]

<表示装置50I>

図46に示す表示装置50Iは、FFSモードの液晶表示装置である。表示装置50Iは、主に、液晶素子60の構成が表示装置50Hとは異なる。

[0782]

絶縁層110上に、液晶素子60の共通電極として機能する導電層263が設けられ、導電層263上に、絶縁層261が設けられている。また、絶縁層261上に、トランジスタのソース電極及びドレイン電極の他方としての機能と、液晶素子60の画素電極としての機能と、を有する導電層112bが設けられている。導電層112b上には、絶縁層218が設けられている。

[0783]

導電層112bは、平面視において楕歯状の形状、またはスリットが設けられた形状を有する。また、導電層263は導電層112bと重ねて配置されている。また着色層と重なる領域において、導電層263上に導電層112bが配置されていない部分を有する。

[0784]

導電層112bと導電層263とが絶縁層261を介して積層されることで、容量が形成される。そのため容量素子を別途形成する必要がなく、画素の開口率を高めることができる。

[0785]

なお、液晶素子60において、導電層112bと導電層263との双方を、櫛歯状の上面形状としてもよい。一方で、表示装置50Iに示すように、液晶素子60において、導電層112bと導電層263のうち、一方のみを櫛歯状の上面形状とすることで、導電層112bと導電層263とが部分的に重なる構成となる。これにより、導電層112bと導電層263との間の容量を保持容量として用いることができ、容量素子を別途設ける必要がなく、表示装置の開口率を高めることができる。

[0786]

<表示装置50J>

図47Aに示す表示装置50Jでは、絶縁層110bの液晶素子60と重なる部分がエッチングにより除去されている。表示装置50Jが有する液晶素子60は、導電層112b、絶縁層110a、絶縁層110c、及び導電層112mがこの順で積層された部分を有する。液晶素子60と絶縁層110bとを重ねないことにより、光透過率を高められるだけでなく、光源からの光の経路上に位置する界面の数を減らすことができるため、界面反射及び界面散乱の影響が抑制できる。

[0787]

導電層112bは、液晶素子60の画素電極として機能する。導電層112mは、液晶素子60の共通電極として機能する。導電層112mは、導電層112aと同一の導電膜により形成されている。

[0788]

なお、絶縁層106及び絶縁層218のいずれか一方、または双方は、液晶素子60と重なる部分がエッチングにより除去されていてもよい。または、絶縁層218は設けなくてもよい。これにより、導電層112b及び導電層112mの電界が液晶262に伝わりやすくなるため、液晶素子60の高速動作が可能となる。さらに、液晶素子60と重なる部分における光透過率が高まるだけでなく、界面反射及び界面散乱の影響を抑制できる。また、絶縁層110a及び絶縁層110cのいずれか一方は、液晶素子60と重なる部分がエッチングにより除去されていてもよい。これによっても、導電層112b及び導電層112mの電界が液晶262に伝わりやすくなる。さらに導電層112b及び導電層112mとの間の容量を大きくできる場合がある。

[0789]

液晶素子60において、導電層112bと導電層112mとの双方を、櫛歯状の上面形状としてもよい。一方で、表示装置50Jに示すように、液晶素子60において、導電層112bと導電層112mのうち、一方のみを櫛歯状の上面形状とすることで、導電層112bと導電層112mとが部分的に重なる構成となる。これにより、導電層112bと導電層112mとの間の容量を保持容量として用いることができ、容量素子を別途設ける必要がなく、表示装置の開口率を高めることができる。

[0790]

<表示装置50K>

図47Bに示す表示装置50Kは、画素電極上に共通電極が設けられている点で、表示装置50Iと主に異なる。トランジスタ100が有する導電層112bは、液晶素子60において画素電極として機能する。当該導電層112b上に、絶縁層106、及び、絶縁層218が設けられており、絶縁層218上に、導電層263が設けられている。導電層263は、液晶素子60において共通電極と

して機能する。導電層 263 は、平面視において、櫛歯状またはスリットが設けられた形状を有する。

[0791]

本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせることができる。

[0792]

(実施の形態 4)

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 48 乃至図 50 を用いて説明する。

[0793]

本実施の形態の電子機器は、表示部に本発明の一態様の表示装置を有する。本発明の一態様の表示装置は、高精細化及び高解像度化が容易である。したがって、様々な電子機器の表示部に用いることができる。

[0794]

本発明の一態様の半導体装置は、電子機器の表示部以外に適用することもできる。例えば、電子機器の制御部等に、本発明の一態様の半導体装置を用いることで、低消費電力化が可能となり好ましい。

[0795]

電子機器として、例えば、テレビジョン装置、デスクトップ型もしくはノート型のコンピュータ、コンピュータ用などのモニタ、デジタルサイネージ、パチンコ機などの大型ゲーム機などの比較的大きな画面を備える電子機器の他、デジタルカメラ、デジタルビデオカメラ、デジタルフォトフレーム、携帯電話機、携帯型ゲーム機、携帯情報端末、音響再生装置、などが挙げられる。

[0796]

特に、本発明の一態様の表示装置は、精細度を高めることが可能なため、比較的小さな表示部を有する電子機器に好適に用いることができる。このような電子機器として、例えば、腕時計型及びブレスレット型の情報端末機（ウェアラブル機器）、並びに、ヘッドマウントディスプレイなどの VR 向け機器、メガネ型の AR 向け機器、及び、MR 向け機器など、頭部に装着可能なウェアラブル機器等が挙げられる。

[0797]

本発明の一態様の表示装置は、HD（画素数 1280×720）、FHD（画素数 1920×1080）、WQHD（画素数 2560×1440）、WQXGA（画素数 2560×1600）、4K（画素数 3840×2160）、8K（画素数 7680×4320）といった極めて高い解像度を有していることが好ましい。特に 4K、8K、またはそれ以上の解像度とすることが好ましい。また、本発明の一態様の表示装置における画素密度（精細度）は、100ppi 以上が好ましく、300ppi 以上が好ましく、500ppi 以上がより好ましく、1000ppi 以上がより好ましく、2000ppi 以上がより好ましく、3000ppi 以上がより好ましく、5000ppi 以上がより好ましく、7000ppi 以上がさらに好ましい。このように高い解像度及び高い精細度の一方または双方を有する表示装置を用いることで、臨場感及び奥行き感などをより高めることが可能となる。また、本発明の一態様の表示装置の画面比率（アスペクト比）については、特に限定はない。例えば、表示装置は、1:1（正方形）、4:3、16:9、16:10 など様々な画面比率に対応することができる。

[0798]

本実施の形態の電子機器は、センサ（力、変位、位置、速度、加速度、角速度、回転数、距離、光、液、磁気、温度、化学物質、音声、時間、硬度、電場、電流、電圧、電力、放射線、流量、湿度、傾

度、振動、においまたは赤外線を検知、検出、または測定する機能を含むもの)を有する構成とすることができる。

[0799]

本実施の形態の電子機器は、様々な機能を有することができる。例えば、様々な情報(静止画、動画、テキスト画像など)を表示部に表示する機能、タッチパネル機能、カレンダー、日付または時刻などを表示する機能、様々なソフトウェア(プログラム)を実行する機能、無線通信機能、記録媒体に記録されているプログラムまたはデータを読み出す機能等を有することができる。

[0800]

図48A乃至図48Dを用いて、頭部に装着可能なウェアラブル機器の一例を説明する。これらウェアラブル機器は、ARのコンテンツを表示する機能、VRのコンテンツを表示する機能、SRのコンテンツを表示する機能、MRのコンテンツを表示する機能のうち少なくとも一つを有する。電子機器が、AR、VR、SR、及びMRなどの少なくとも一つのコンテンツを表示する機能を有することで、使用者の没入感を高めることが可能となる。

[0801]

図48Aに示す電子機器700A、及び、図48Bに示す電子機器700Bは、それぞれ、一对の表示パネル751と、一对の筐体721と、通信部(図示しない)と、一对の装着部723と、制御部(図示しない)と、撮像部(図示しない)と、一对の光学部材753と、フレーム757と、一对の鼻パッド758と、を有する。

[0802]

表示パネル751には、本発明の一態様の表示装置を適用することができる。したがって極めて精細度の高い表示が可能な電子機器とすることができる。

[0803]

電子機器700A、及び、電子機器700Bは、それぞれ、光学部材753の表示領域756に、表示パネル751で表示した画像を投影することができる。光学部材753は透光性を有するため、使用者は光学部材753を通して視認される透過像に重ねて、表示領域に表示された画像を見ることができる。したがって、電子機器700A、及び、電子機器700Bは、それぞれ、AR表示が可能な電子機器である。

[0804]

電子機器700A、及び、電子機器700Bには、撮像部として、前方を撮像することのできるカメラを設けることができる。また、電子機器700A、及び、電子機器700Bは、それぞれ、ジャイロセンサなどの加速度センサを備えることで、使用者の頭部の向きを検知して、その向きに応じた画像を表示領域756に表示することもできる。

[0805]

通信部は無線通信機を有し、当該無線通信機により映像信号等を供給することができる。なお、無線通信機に代えて、または無線通信機に加えて、映像信号及び電源電位が供給されるケーブルを接続可能なコネクタを備えていてもよい。

[0806]

電子機器700A、及び、電子機器700Bには、バッテリー(図示しない)が設けられており、無線及び有線的一方または双方によって充電することができる。

[0807]

筐体 7 2 1 には、タッチセンサモジュールが設けられていてもよい。タッチセンサモジュールは、筐体 7 2 1 の外側の面がタッチされることを検出する機能を有する。タッチセンサモジュールにより、使用者のタップ操作またはスライド操作などを検出し、様々な処理を実行することができる。例えば、タップ操作によって動画の一時停止または再開などの処理を実行することが可能となり、スライド操作により、早送りまたは早戻しの処理を実行することなどが可能となる。また、2つの筐体 7 2 1 のそれぞれにタッチセンサモジュールを設けることで、操作の幅を広げることができる。

[0808]

タッチセンサモジュールとして、様々なタッチセンサを適用することができる。例えば、静電容量方式、抵抗膜方式、赤外線方式、電磁誘導方式、表面弾性波方式、光学方式等、種々の方式を採用することができる。特に、静電容量方式または光学方式のセンサを、タッチセンサモジュールに適用することが好ましい。

[0809]

光学方式のタッチセンサを用いる場合には、受光素子として、光電変換素子を用いることができる。光電変換素子の活性層には、無機半導体及び有機半導体の一方または双方を用いることができる。

[0810]

図 4 8 C に示す電子機器 8 0 0 A、及び、図 4 8 D に示す電子機器 8 0 0 B は、それぞれ、一对の表示部 8 2 0 と、筐体 8 2 1 と、通信部 8 2 2 と、一对の装着部 8 2 3 と、制御部 8 2 4 と、一对の撮像部 8 2 5 と、一对のレンズ 8 3 2 と、を有する。なお、図 4 8 D では表示部 8 2 0、通信部 8 2 2 及び撮像部 8 2 5 を省略している。

[0811]

表示部 8 2 0 には、本発明の一態様の表示装置を適用することができる。したがって極めて精細度の高い表示が可能な電子機器とすることができる。これにより、使用者に高い没入感を感じさせることができる。

[0812]

表示部 8 2 0 は、筐体 8 2 1 の内部の、レンズ 8 3 2 を通して視認できる位置に設けられる。また、一对の表示部 8 2 0 に異なる画像を表示させることで、視差を用いた 3 次元表示を行うこともできる。

[0813]

電子機器 8 0 0 A、及び、電子機器 8 0 0 B は、それぞれ、VR 向けの電子機器ということができる。電子機器 8 0 0 A または電子機器 8 0 0 B を装着した使用者は、レンズ 8 3 2 を通して、表示部 8 2 0 に表示される画像を視認することができる。

[0814]

電子機器 8 0 0 A、及び、電子機器 8 0 0 B は、それぞれ、レンズ 8 3 2 及び表示部 8 2 0 が、使用者の目の位置に応じて最適な位置となるように、これらの左右の位置を調整可能な機構を有していることが好ましい。また、レンズ 8 3 2 と表示部 8 2 0 との距離を変えることで、ピントを調整する機構を有していることが好ましい。

[0815]

装着部 8 2 3 により、使用者は電子機器 8 0 0 A または電子機器 8 0 0 B を頭部に装着することができる。なお、図 4 8 C などにおいては、メガネのつる（テンプルともいう）のような形状として例示しているがこれに限定されない。装着部 8 2 3 は、使用者が装着できればよく、例えば、ヘルメ

ット型またはバンド型の形状としてもよい。

[0816]

撮像部825は、外部の情報を取得する機能を有する。撮像部825が取得したデータは、表示部820に出力することができる。撮像部825には、イメージセンサを用いることができる。また、望遠、広角などの複数の画角に対応可能なように複数のカメラを設けてもよい。

[0817]

なお、ここでは撮像部825を有する例を示したが、対象物の距離を測定することのできる測距センサ（以下、検知部とも呼ぶ）を設ければよい。すなわち、撮像部825は、検知部の一態様である。検知部として、例えばイメージセンサ、または、ライダー（L I D A R : L i g h t D e t e c t i o n a n d R a n g i n g）などの距離画像センサを用いることができる。カメラによって得られた画像と、距離画像センサによって得られた画像とを用いることにより、より多くの情報を取得し、より高精度のジェスチャー操作を可能とすることができる。

[0818]

電子機器800Aは、骨伝導イヤフォンとして機能する振動機構を有してもよい。例えば、表示部820、筐体821、及び装着部823のいずれか一または複数に、当該振動機構を有する構成を適用することができる。これにより、別途、ヘッドフォン、イヤフォン、またはスピーカなどの音響機器を必要とせず、電子機器800Aを装着しただけで映像と音声を楽しむことができる。

[0819]

電子機器800A、及び、電子機器800Bは、それぞれ、入力端子を有してもよい。入力端子には映像出力機器等からの映像信号、及び、電子機器内に設けられるバッテリーを充電するための電力等を供給するケーブルを接続することができる。

[0820]

本発明の一態様の電子機器は、イヤフォン750と無線通信を行う機能を有してもよい。イヤフォン750は、通信部（図示しない）を有し、無線通信機能を有する。イヤフォン750は、無線通信機能により、電子機器から情報（例えば音声データ）を受信することができる。例えば、図48Aに示す電子機器700Aは、無線通信機能によって、イヤフォン750に情報を送信する機能を有する。また、例えば、図48Cに示す電子機器800Aは、無線通信機能によって、イヤフォン750に情報を送信する機能を有する。

[0821]

電子機器がイヤフォン部を有してもよい。図48Bに示す電子機器700Bは、イヤフォン部727を有する。例えば、イヤフォン部727と制御部とは、互いに有線接続されている構成とすることができる。イヤフォン部727と制御部とをつなぐ配線の一部は、筐体721または装着部723の内部に配置されていてもよい。

[0822]

同様に、図48Dに示す電子機器800Bは、イヤフォン部827を有する。例えば、イヤフォン部827と制御部824とは、互いに有線接続されている構成とすることができる。イヤフォン部827と制御部824とをつなぐ配線の一部は、筐体821または装着部823の内部に配置されていてもよい。また、イヤフォン部827と装着部823とがマグネットを有してもよい。これにより、イヤフォン部827を装着部823に磁力によって固定することができ、収納が容易となり好ましい。

[0823]

なお、電子機器は、イヤフォンまたはヘッドフォンなどを接続することができる音声出力端子を有してもよい。また、電子機器は、音声入力端子及び音声入力機構の一方または双方を有してもよい。音声入力機構として、例えば、マイクなどの集音装置を用いることができる。電子機器が音声入力機構を有することで、電子機器に、いわゆるヘッドセットとしての機能を付与してもよい。

[0824]

このように、本発明の一態様の電子機器は、メガネ型（電子機器700A、及び、電子機器700Bなど）と、ゴーグル型（電子機器800A、及び、電子機器800Bなど）と、のどちらも好適である。

[0825]

本発明の一態様の電子機器は、有線または無線によって、イヤフォンに情報を送信することができる。

[0826]

図49Aに示す電子機器6500は、スマートフォンとして用いることのできる携帯情報端末機である。

[0827]

電子機器6500は、筐体6501、表示部6502、電源ボタン6503、ボタン6504、スピーカ6505、マイク6506、カメラ6507、及び光源6508を有する。表示部6502はタッチパネル機能を備える。

[0828]

表示部6502に、本発明の一態様の表示装置を適用することができる。

[0829]

図49Bは、筐体6501のマイク6506側の端部を含む断面概略図である。

[0830]

筐体6501の表示面側には透光性を有する保護部材6510が設けられ、筐体6501と保護部材6510に囲まれた空間内に、表示パネル6511、光学部材6512、タッチセンサパネル6513、プリント基板6517、バッテリー6518等が配置されている。

[0831]

保護部材6510には、表示パネル6511、光学部材6512、及びタッチセンサパネル6513が接着層（図示しない）により固定されている。

[0832]

表示部6502よりも外側の領域において、表示パネル6511の一部が折り返されており、当該折り返された部分にFPC6515が接続されている。FPC6515には、IC6516が実装されている。FPC6515は、プリント基板6517に設けられた端子に接続されている。

[0833]

表示パネル6511には本発明の一態様の表示装置を適用することができる。そのため、極めて軽量の電子機器を実現できる。また、表示パネル6511が極めて薄いため、電子機器の厚さを抑えつつ、大容量のバッテリー6518を搭載することもできる。また、表示パネル6511の一部を折り返して、画素部の裏側にFPC6515との接続部を配置することにより、狭額縁の電子機器を実現できる。

[0834]

図49Cにテレビジョン装置の一例を示す。テレビジョン装置7100は、筐体7101に表示部7000が組み込まれている。ここでは、スタンド7103により筐体7101を支持した構成を示している。

[0835]

表示部7000に、本発明の一態様の表示装置を適用することができる。

[0836]

図49Cに示すテレビジョン装置7100の操作は、筐体7101が備える操作スイッチ、及び、別体のリモコン操作機7111により行うことができる。または、表示部7000にタッチセンサを備えていてもよく、指等で表示部7000に触れることでテレビジョン装置7100を操作してもよい。リモコン操作機7111は、当該リモコン操作機7111から出力する情報を表示する表示部を有してもよい。リモコン操作機7111が備える操作キーまたはタッチパネルにより、チャンネル及び音量の操作を行うことができ、表示部7000に表示される映像を操作することができる。

[0837]

なお、テレビジョン装置7100は、受信機及びモデムなどを備えた構成とする。受信機により一般のテレビ放送の受信を行うことができる。また、モデムを介して有線または無線による通信ネットワークに接続することにより、一方向（送信者から受信者）または双方向（送信者と受信者間、あるいは受信者間など）の情報通信を行うことも可能である。

[0838]

図49Dに、ノート型コンピュータの一例を示す。ノート型コンピュータ7200は、筐体7211、キーボード7212、ポインティングデバイス7213、外部接続ポート7214等を有する。筐体7211に、表示部7000が組み込まれている。

[0839]

表示部7000に、本発明の一態様の表示装置を適用することができる。

[0840]

図49E及び図49Fに、デジタルサイネージの一例を示す。

[0841]

図49Eに示すデジタルサイネージ7300は、筐体7301、表示部7000、及びスピーカ7303等を有する。さらに、LEDランプ、操作キー（電源スイッチ、または操作スイッチを含む）、接続端子、各種センサ、マイクロフォン等を有することができる。

[0842]

図49Fは円柱状の柱7401に取り付けられたデジタルサイネージ7400である。デジタルサイネージ7400は、柱7401の曲面に沿って設けられた表示部7000を有する。

[0843]

図49E及び図49Fにおいて、表示部7000に、本発明の一態様の表示装置を適用することができる。

[0844]

表示部7000が広いほど、一度に提供できる情報量を増やすことができる。また、表示部7000が広いほど、人の目につきやすく、例えば、広告の宣伝効果を高めることができる。

[0845]

表示部7000にタッチパネルを適用することで、表示部7000に画像または動画を表示するだけでなく、使用者が直感的に操作することができ、好ましい。また、路線情報もしくは交通情報などの情報を提供するための用途に用いる場合には、直感的な操作によりユーザビリティを高めることができる。

[0846]

図49E及び図49Fに示すように、デジタルサイネージ7300またはデジタルサイネージ7400は、使用者が所持するスマートフォン等の情報端末機7311または情報端末機7411と無線通信により連携可能であることが好ましい。例えば、表示部7000に表示される広告の情報を、情報端末機7311または情報端末機7411の画面に表示させることができる。また、情報端末機7311または情報端末機7411を操作することで、表示部7000の表示を切り替えることができる。

[0847]

デジタルサイネージ7300またはデジタルサイネージ7400に、情報端末機7311または情報端末機7411の画面を操作手段（コントローラ）としたゲームを実行させることもできる。これにより、不特定多数の使用者が同時にゲームに参加し、楽しむことができる。

[0848]

図50A乃至図50Gに示す電子機器は、筐体9000、表示部9001、スピーカ9003、操作キー9005（電源スイッチ、または操作スイッチを含む）、接続端子9006、センサ9007（力、変位、位置、速度、加速度、角速度、回転数、距離、光、液、磁気、温度、化学物質、音声、時間、硬度、電場、電流、電圧、電力、放射線、流量、湿度、傾度、振動、にのみまたは赤外線を検知、検出、または測定する機能を含むもの）、マイクロフォン9008、等を有する。

[0849]

図50A乃至図50Gにおいて、表示部9001に、本発明の一態様の表示装置を適用することができる。

[0850]

図50A乃至図50Gに示す電子機器は、様々な機能を有する。例えば、様々な情報（静止画、動画、テキスト画像など）を表示部に表示する機能、タッチパネル機能、カレンダー、日付または時刻などを表示する機能、様々なソフトウェア（プログラム）によって処理を制御する機能、無線通信機能、記録媒体に記録されているプログラムまたはデータを読み出して処理する機能、等を有することができる。なお、電子機器の機能はこれらに限られず、様々な機能を有することができる。電子機器は、複数の表示部を有してもよい。また、電子機器にカメラ等を設け、静止画または動画を撮影し、記録媒体（外部またはカメラに内蔵）に保存する機能、撮影した画像を表示部に表示する機能、等を有してもよい。

[0851]

図50A乃至図50Gに示す電子機器の詳細について、以下説明を行う。

[0852]

図50Aは、携帯情報端末9101を示す斜視図である。携帯情報端末9101は、例えばスマートフォンとして用いることができる。なお、携帯情報端末9101は、スピーカ9003、接続端子9006、センサ9007等を設けてもよい。また、携帯情報端末9101は、文字及び画像情報をその複数の面に表示することができる。図50Aでは3つのアイコン9050を表示した例を示し

ている。また、破線の矩形で示す情報9051を表示部9001の他の面に表示することもできる。情報9051の例として、電子メール、SNS、電話などの着信の通知、電子メールまたはSNSなどの題名、送信者名、日時、時刻、バッテリーの残量、及び電波強度が挙げられる。または、情報9051が表示されている位置にはアイコン9050などを表示してもよい。

[0853]

図50Bは、携帯情報端末9102を示す斜視図である。携帯情報端末9102は、表示部9001の3面以上に情報を表示する機能を有する。ここでは、情報9052、情報9053、情報9054がそれぞれ異なる面に表示されている例を示す。例えば使用者は、洋服の胸ポケットに携帯情報端末9102を収納した状態で、携帯情報端末9102の上方から観察できる位置に表示された情報9053を確認することもできる。使用者は、携帯情報端末9102をポケットから取り出すことなく表示を確認し、例えば電話を受けるか否かを判断できる。

[0854]

図50Cは、タブレット端末9103を示す斜視図である。タブレット端末9103は、一例として、移動電話、電子メール、文章閲覧及び作成、音楽再生、インターネット通信、コンピュータゲーム等の種々のアプリケーションの実行が可能である。タブレット端末9103は、筐体9000の正面に表示部9001、カメラ9002、マイクロフォン9008、スピーカ9003を有し、筐体9000の側面には操作用のボタンとしての操作キー9005、底面には接続端子9006を有する。

[0855]

図50Dは、腕時計型の携帯情報端末9200を示す斜視図である。携帯情報端末9200は、例えばスマートウォッチ（登録商標）として用いることができる。また、表示部9001はその表示面が湾曲して設けられ、湾曲した表示面に沿って表示を行うことができる。また、携帯情報端末9200は、例えば無線通信可能なヘッドセットと相互通信することによって、ハンズフリーで通話することもできる。また、携帯情報端末9200は、接続端子9006により、他の情報端末と相互にデータ伝送を行うこと、及び、充電を行うこともできる。なお、充電動作は無線給電により行ってもよい。

[0856]

図50E乃至図50Gは、折り畳み可能な携帯情報端末9201を示す斜視図である。また、図50Eは携帯情報端末9201を展開した状態、図50Gは折り畳んだ状態、図50Fは図50Eと図50Gの一方から他方に変化する途中の状態の斜視図である。携帯情報端末9201は、折り畳んだ状態では可搬性に優れ、展開した状態では継ぎ目のない広い表示領域により表示の一覧性に優れる。携帯情報端末9201が有する表示部9001は、ヒンジ9055によって連結された3つの筐体9000に支持されている。例えば、表示部9001は、曲率半径0.1mm以上150mm以下で曲げることができる。

[0857]

本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせることができる。

[符号の説明]

[0858]

10A：半導体装置、10B：半導体装置、10C：半導体装置、10D：半導体装置、10E：半導体装置、10F：半導体装置、10：半導体装置、11B：副画素、11G：副画素、11R：副画素、20A：半導体装置、20B：半導体装置、20C：半導体装置、20：半導体装置、30：半導体装置、40：半導体装置、50A：表示装置、50B：表示装置、50C：表示装置、50D：

表示装置、50E：表示装置、50F：表示装置、50G：表示装置、50H：表示装置、50I：表示装置、50J：表示装置、50K：表示装置、60：液晶素子、100\_\_1：トランジスタ、100\_\_2：トランジスタ、100\_\_3：トランジスタ、100\_\_4：トランジスタ、100\_\_p：トランジスタ、100\_\_q：トランジスタ、100A：トランジスタ、100B：トランジスタ、100C：トランジスタ、100D：トランジスタ、100：トランジスタ、102：基板、103：導電層、104：導電層、106a：絶縁層、106b：絶縁層、106：絶縁層、107：絶縁層、108\_\_1：半導体層、108\_\_2：半導体層、108\_\_3：半導体層、108\_\_4：半導体層、108a：半導体層、108b：半導体層、108c：半導体層、108Da：領域、108Db：領域、108Ea：領域、108Eb：領域、108f：金属酸化物膜、108：半導体層、109：絶縁層、110a：絶縁層、110af：絶縁膜、110b：絶縁層、110bf：絶縁膜、110c：絶縁層、110cf：絶縁膜、110d：絶縁層、110e：絶縁層、110ef：絶縁膜、110：絶縁層、111B：画素電極、111G：画素電極、111R：画素電極、111S：画素電極、111：画素電極、112a：導電層、112a\_\_1：導電層、112a\_\_2：導電層、112a\_\_3：導電層、112B：導電層、112b：導電層、112bf：導電膜、112c：導電層、112d：導電層、112e：導電層、112m：導電層、113B：EL層、113G：EL層、113R：EL層、113S：機能層、113：EL層、114：共通層、115：共通電極、117：遮光層、123：導電層、124B：導電層、124G：導電層、124R：導電層、125：絶縁層、126B：導電層、126G：導電層、126R：導電層、127：絶縁層、128：層、130B：発光素子、130G：発光素子、130R：発光素子、130S：受光素子、131：保護層、132B：着色層、132G：着色層、132R：着色層、133B：層、133G：層、133R：層、133：層、139：膜、140：接続部、141\_\_1：開口部、141\_\_4：開口部、141：開口部、142：接着層、143\_\_1：開口部、143\_\_2：開口部、143\_\_3：開口部、143\_\_4：開口部、143：開口部、144：接着層、146：開口部、148：開口部、151：基板、152：基板、153：絶縁層、162：表示部、164：回路部、165a：導電層、165b：導電層、165：導電層、166a：導電層、166b：導電層、166：導電層、172：FPC、173：IC、187：不純物元素、189：不純物元素、190：容量素子、195：絶縁層、197：接続部、200：トランジスタ、201：画素、204：導電層、205B：トランジスタ、205D：トランジスタ、205G：トランジスタ、205R：トランジスタ、205S：トランジスタ、208Da：領域、208Db：領域、208：半導体層、218：絶縁層、223：接続体、224：スペーサ、225：絶縁層、235：絶縁層、237：絶縁層、241：開口部、242：接続層、243：開口部、250：トランジスタ、252：絶縁層、253D：領域、253：半導体層、254：絶縁層、255：導電層、256：絶縁層、257a：開口部、257b：開口部、258a：導電層、258b：導電層、259：導電層、260a：偏光板、260b：偏光板、261：絶縁層、262：液晶、263：導電層、264：導電層、265：配向膜、352：指、353：層、355：回路層、357：層、700A：電子機器、700B：電子機器、721：筐体、723：装着部、727：イヤフォン部、750：イヤフォン、751：表示パネル、753：光学部材、756：表示領域、757：フレーム、758：鼻パッド、800A：電子機器、800B：電子機器、820：表示部、821：筐体、822：通信部、823：装着部、824：制御部、825：撮像部、827：イヤフォン部、832：レンズ、6500：電子機器、6501：筐体、6502：表示部、6503：電源ボタン、6504：ボタン、6505：スピーカ、6506：マ

イク、6507:カメラ、6508:光源、6510:保護部材、6511:表示パネル、6512:光学部材、6513:タッチセンサパネル、6515:FPC、6516:IC、6517:プリント基板、6518:バッテリー、7000:表示部、7100:テレビジョン装置、7101:筐体、7103:スタンド、7111:リモコン操作機、7200:ノート型コンピュータ、7211:筐体、7212:キーボード、7213:ポインティングデバイス、7214:外部接続ポート、7300:デジタルサイネージ、7301:筐体、7303:スピーカ、7311:情報端末機、7400:デジタルサイネージ、7401:柱、7411:情報端末機、9000:筐体、9001:表示部、9002:カメラ、9003:スピーカ、9005:操作キー、9006:接続端子、9007:センサ、9008:マイクロフォン、9050:アイコン、9051:情報、9052:情報、9053:情報、9054:情報、9055:ヒンジ、9101:携帯情報端末、9102:携帯情報端末、9103:タブレット端末、9200:携帯情報端末、9201:携帯情報端末

## 請求の範囲

## [請求項1]

半導体層と、第1の導電層と、第2の導電層と、第3の導電層と、第1の絶縁層と、第2の絶縁層と、を有し、  
前記第1の絶縁層は、前記第1の導電層上に位置し、  
前記第1の絶縁層は、前記第1の導電層に達する第1の開口部を有し、  
前記第2の導電層は、前記第1の絶縁層上に位置し、  
前記第2の導電層は、前記第1の開口部と重なる領域に第2の開口部を有し、  
前記半導体層は、前記第1の開口部において、前記第1の導電層の上面と接する第1の領域と、前記第1の絶縁層の側面と接する第2の領域と、を有し、  
前記第2の絶縁層は、前記半導体層上に位置し、  
前記第3の導電層は、前記第2の絶縁層を介して、前記半導体層と重なる領域を有し、  
前記第1の領域及び前記第2の絶縁層はそれぞれ、第1の元素を有し、  
前記第1の元素は、ホウ素またはリンであり、  
前記第2の領域における前記第1の元素の濃度は、前記第1の領域における前記第1の元素の濃度の $1 \times 10^{-3}$ 倍以下であり、  
前記第1の開口部における前記第1の絶縁層の側面と、前記第1の導電層の上面のなす角度は、66度以上90度以下である、半導体装置。

## [請求項2]

請求項1において、  
前記半導体層は、前記第2の開口部において、前記第2の導電層の側面と接する領域を有するとともに、前記第2の導電層の上面と接する第3の領域を有し、  
前記第3の領域は、前記第1の元素を有し、  
前記第2の領域における前記第1の元素の濃度は、前記第3の領域における前記第1の元素の濃度の $1 \times 10^{-3}$ 倍以下である、半導体装置。

## [請求項3]

半導体層と、第1の導電層と、第2の導電層と、第3の導電層と、第1の絶縁層と、第2の絶縁層と、を有し、  
前記第1の絶縁層は、前記第1の導電層上に位置し、  
前記第1の絶縁層は、前記第1の導電層に達する第1の開口部を有し、  
前記第2の導電層は、前記第1の絶縁層上に位置し、  
前記第2の導電層は、前記第1の開口部と重なる領域に第2の開口部を有し、  
前記半導体層は、前記第1の開口部において、前記第1の導電層の上面と接する第1の領域と、前記第1の絶縁層の側面と接する第2の領域と、を有し、  
前記第2の絶縁層は、前記半導体層上に位置し、  
前記第3の導電層は、前記第2の絶縁層を介して、前記半導体層と重なる領域を有し、  
前記第1の領域及び前記第2の絶縁層はそれぞれ、第1の元素を有し、  
前記第1の元素は、ホウ素またはリンであり、  
前記第2の領域における前記第1の元素の濃度は、前記第1の領域における前記第1の元素の濃度の $1 \times 10^{-3}$ 倍以下であり、

前記第1の導電層の上面に垂直な方向において、前記第2の絶縁層の前記第2の領域と接する部分の厚さは、前記第2の絶縁層の前記第1の領域と接する部分の厚さの2.5倍以上である、半導体装置。

[請求項4]

請求項3において、

前記半導体層は、前記第2の開口部において、前記第2の導電層の側面と接する領域を有するとともに、前記第2の導電層の上面と接する第3の領域を有し、

前記第3の領域は、前記第1の元素を有し、

前記第1の導電層の上面に垂直な方向における、前記第2の絶縁層の前記第2の領域と接する部分の厚さは、前記第2の絶縁層の前記第3の領域と接する部分の厚さの2.5倍以上である、半導体装置。

[請求項5]

請求項1乃至請求項4のいずれか一において、

前記第1の領域は、水素を有し、

前記第1の領域における水素の濃度は、前記第2の領域における水素の濃度より高い、半導体装置。

[請求項6]

請求項1乃至請求項4のいずれか一において、

前記第1の領域は、第2の元素を有し、

前記第2の元素は、アルゴン、クリプトンまたはキセノンであり、

前記第1の領域における前記第2の元素の濃度は、前記第2の領域における前記第2の元素の濃度より高い、半導体装置。

[請求項7]

請求項1乃至請求項4のいずれか一において、

前記半導体層は、金属酸化物を有する、半導体装置。

[請求項8]

請求項1乃至請求項4のいずれか一において、

前記第1の絶縁層は、第3の絶縁層と、前記第3の絶縁層上の第4の絶縁層と、前記第4の絶縁層上の第5の絶縁層と、を有し、

前記第3の絶縁層及び前記第5の絶縁層はそれぞれ、シリコンと、窒素と、を有し、

前記第4の絶縁層は、シリコンと、酸素と、を有する、半導体装置。

[請求項9]

請求項1乃至請求項4のいずれか一において、

前記第1の絶縁層は、第3の絶縁層と、前記第3の絶縁層上の第4の絶縁層と、前記第4の絶縁層上の第5の絶縁層と、を有し、

前記第3の絶縁層は、シリコンと、窒素と、を有し、

前記第4の絶縁層は、シリコンと、酸素と、を有し、

前記第5の絶縁層は、アルミニウム及びハフニウム的一方または双方と、酸素と、を有する、半導体装置。

[請求項10]

第1の導電層を形成し、

前記第1の導電層上に、第1の絶縁膜を形成し、  
 前記第1の絶縁膜上に、第1の導電膜を形成し、  
 前記第1の導電膜及び前記第1の絶縁膜を加工し、前記第1の導電層に達する第1の開口部を有する第1の絶縁層を形成するとともに、前記第1の開口部と重なる第2の開口部を有する第2の導電層を形成し、  
 前記第1の導電層、前記第1の絶縁層、及び前記第2の導電層上に、半導体層を形成し、  
 前記半導体層上に、第2の絶縁層を形成し、  
 前記第2の絶縁層を介して、プラズマイオンドーピング法またはイオン注入法を用いて、前記半導体層に第1の元素を供給し、  
 前記第2の絶縁層上に、第3の導電層を形成し、  
 前記第1の元素は、ホウ素またはリンであり、  
 前記半導体層は、前記第1の導電層の上面と接する第1の領域と、前記第1の絶縁層の側面と接する第2の領域と、を有し、  
 前記第1の領域及び前記第2の絶縁層はそれぞれ、前記第1の元素を有し、  
 下記数式(1)で表わされるPaは、 $1 \times 10^{-3}$ 以下である、半導体装置の作製方法。

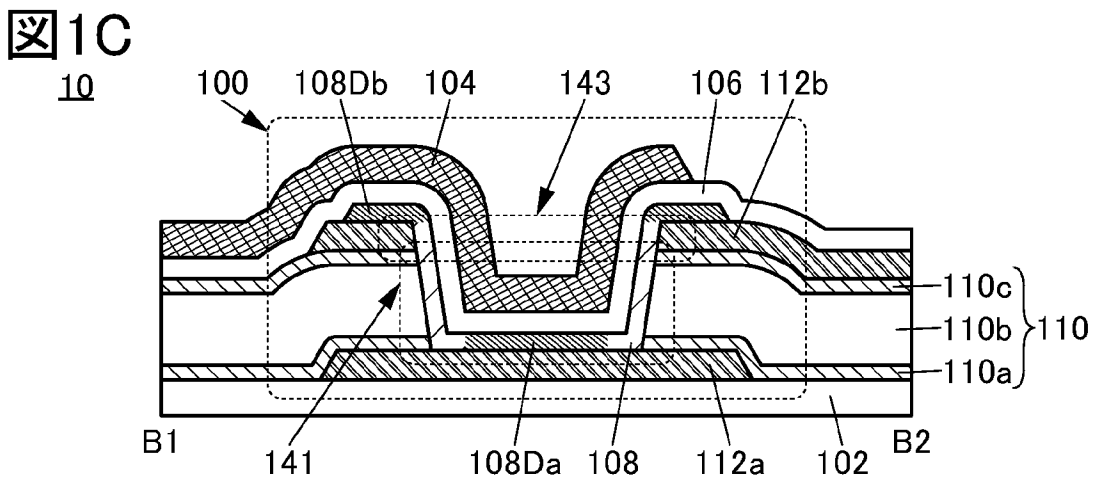
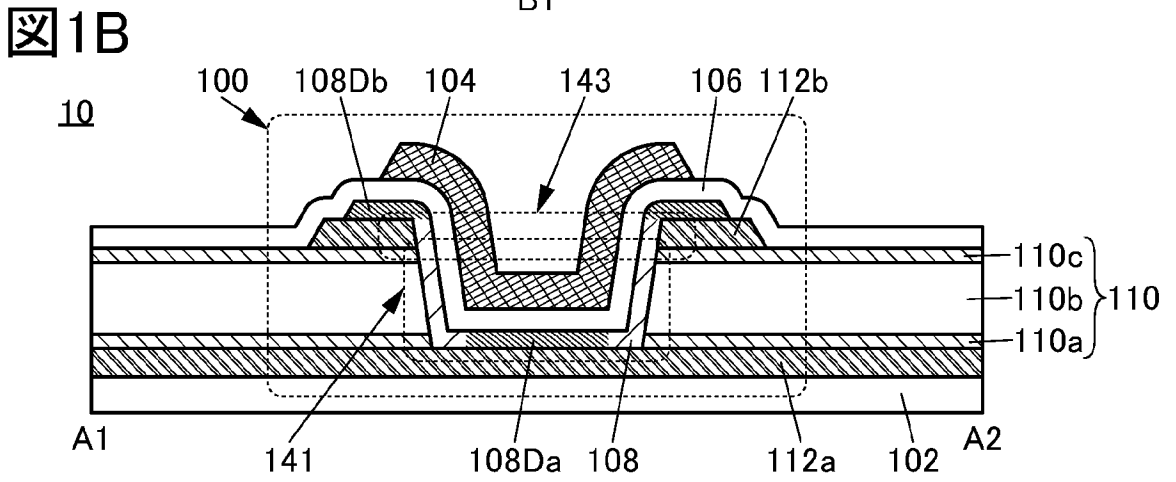
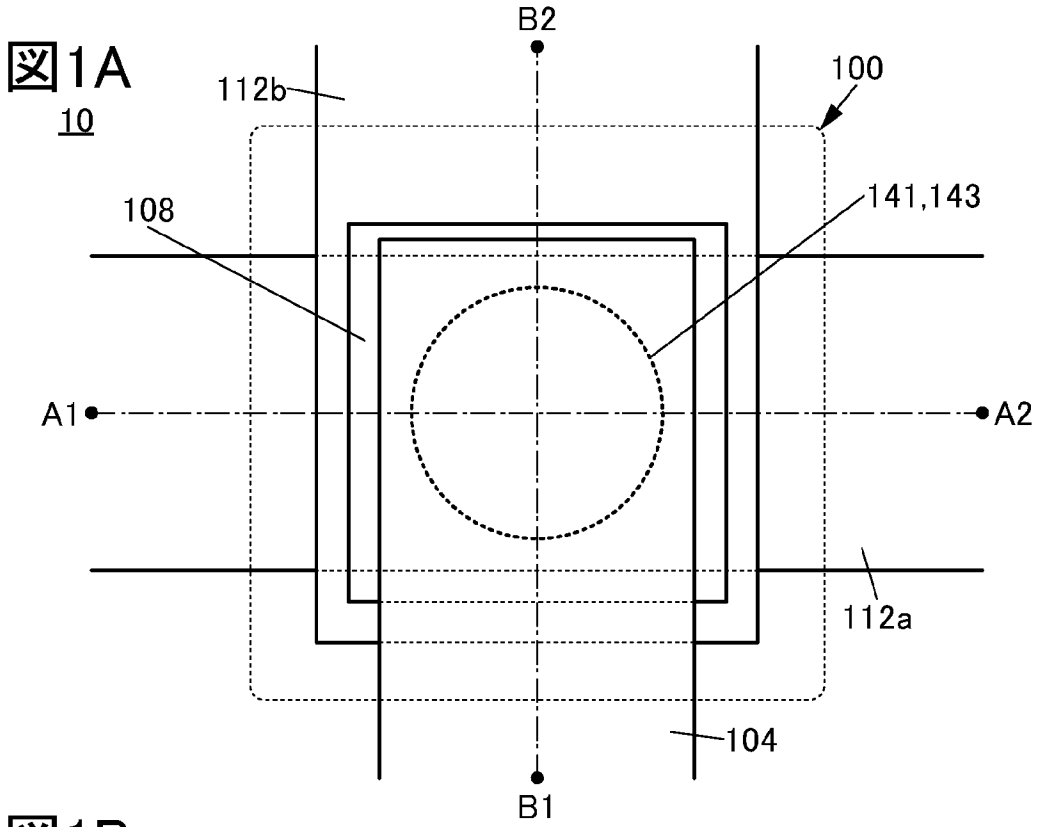
[数1]

$$Pa = \exp\left(-\frac{\left(\frac{\beta}{\cos\theta}-1\right)^2}{2\alpha^2}\right) \quad (1)$$

(数式(1)において、 $\theta$ は、90度未満であり、かつ前記第1の絶縁層の前記第1の開口部における側面と、前記第1の導電層の上面のなす角度を表す。 $\alpha$ は、0より大きい実数であり、かつ前記第1の元素の供給におけるイオンの投影飛程に対する標準偏差の比を表す。 $\beta$ は、0より大きい実数であり、かつ前記第1の導電層の上面に垂直な方向において、前記第2の絶縁層の前記第1の導電層の上面に沿って設けられる部分の厚さに対する、前記第2の絶縁層の前記第1の絶縁層の側面に沿って設けられる部分の厚さの比を表す。)

[請求項11]

請求項10において、  
 前記第1の元素を供給する前に、前記第2の絶縁層を介して、プラズマイオンドーピング法またはイオン注入法を用いて、前記半導体層に第2の元素を供給し、  
 前記第2の元素は、アルゴン、クリプトンまたはキセノンである、半導体装置の作製方法。



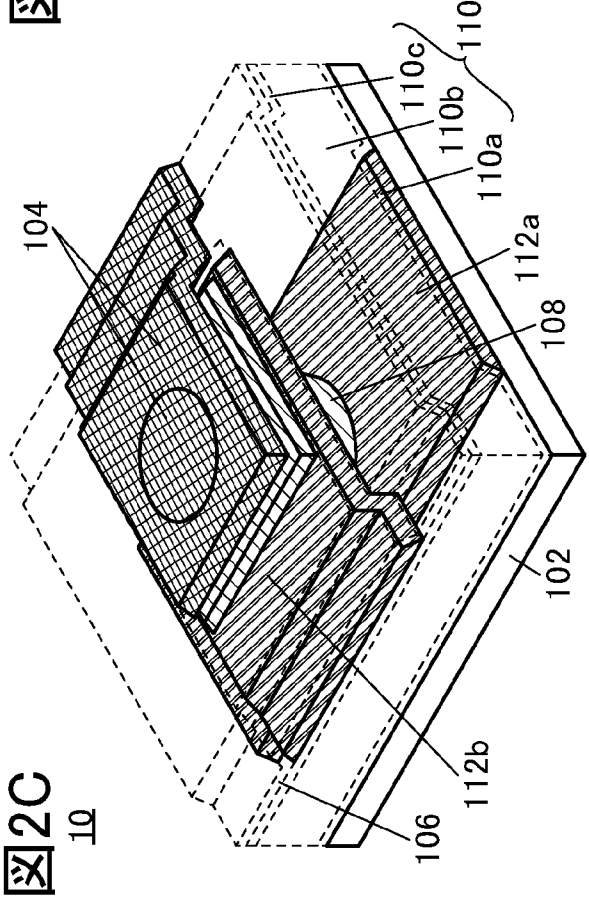
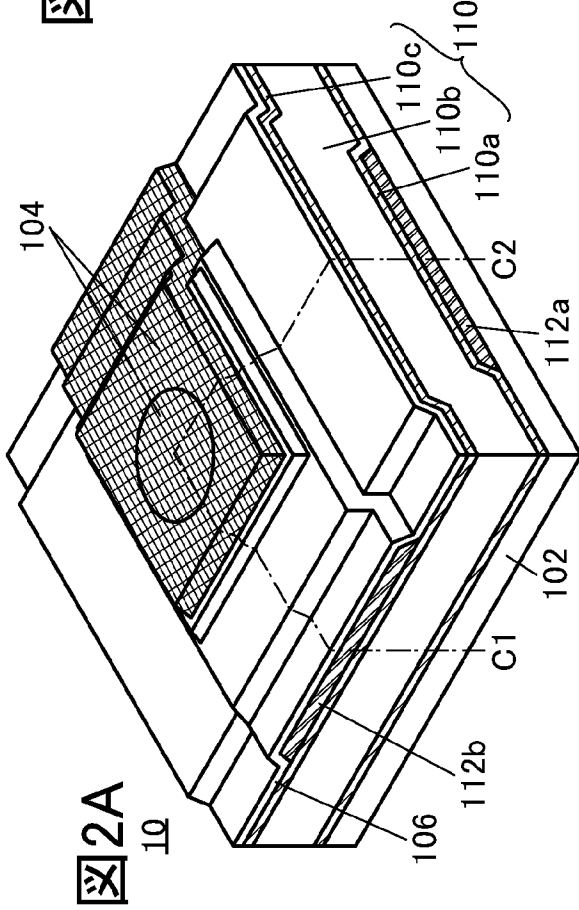
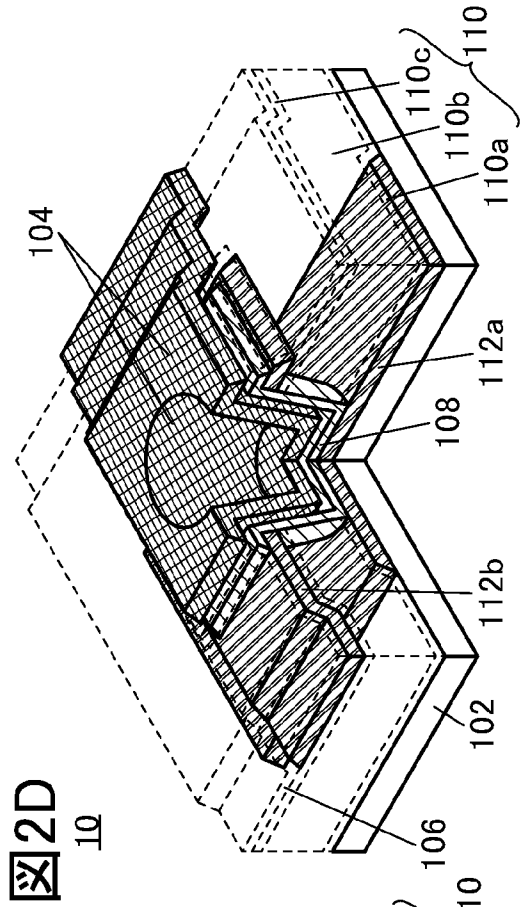
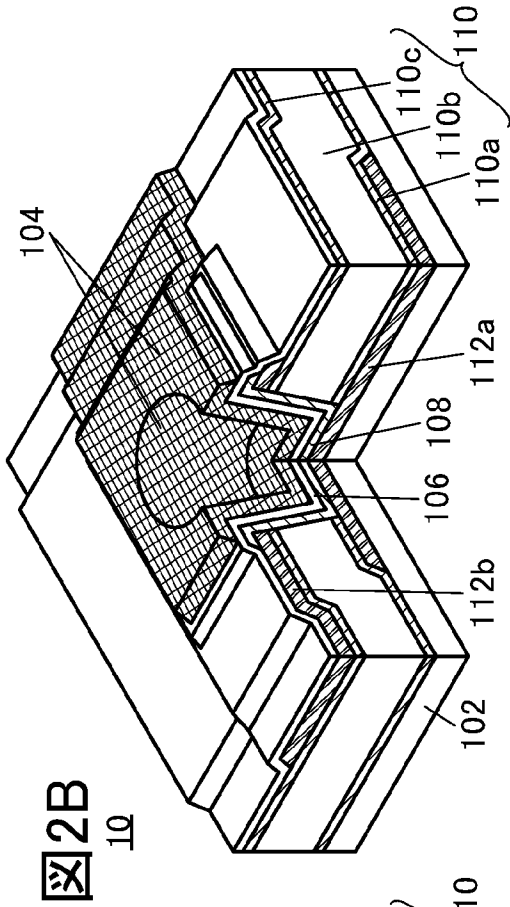


図3A

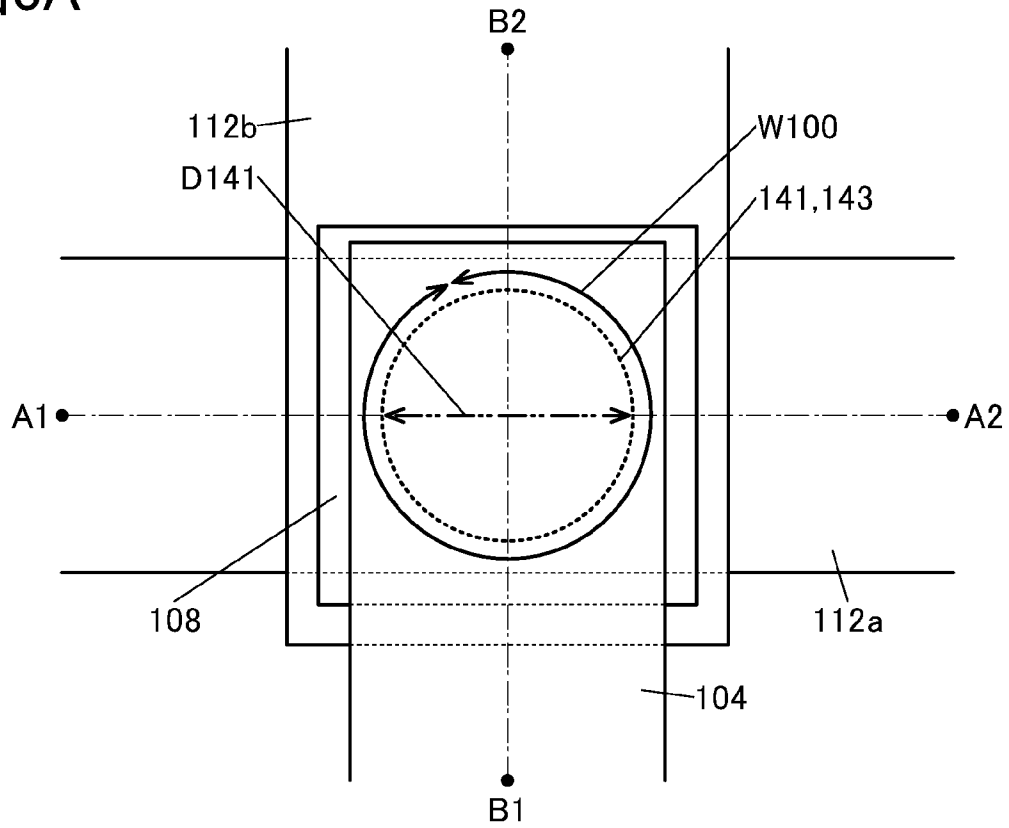


図3B

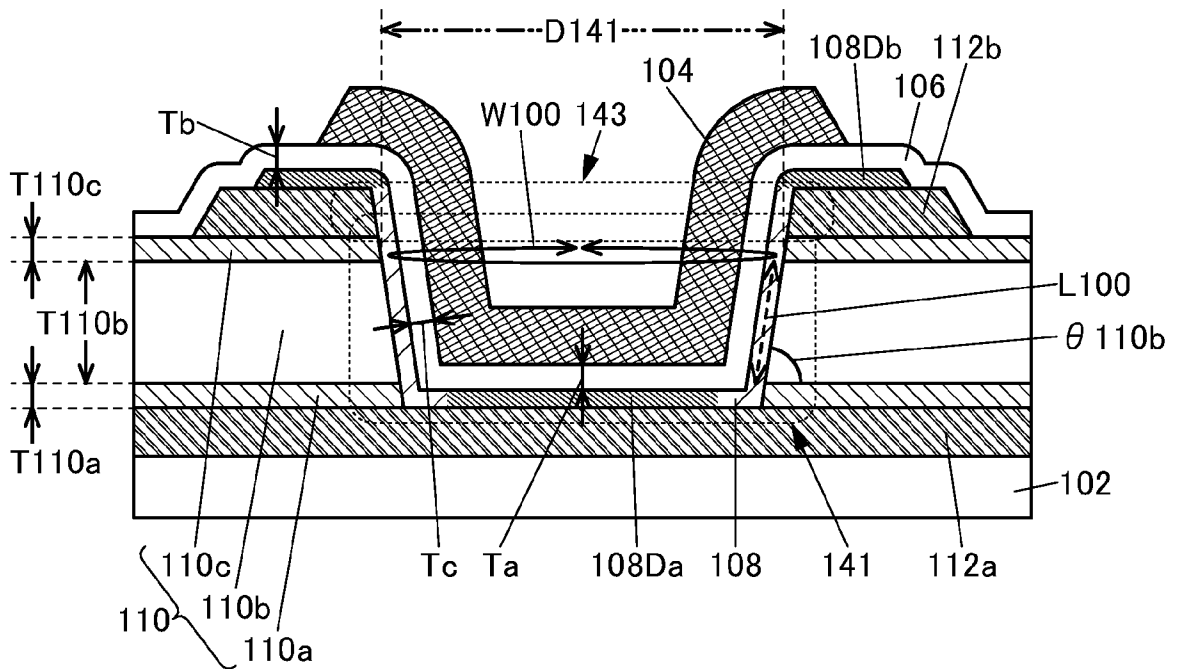




図5A

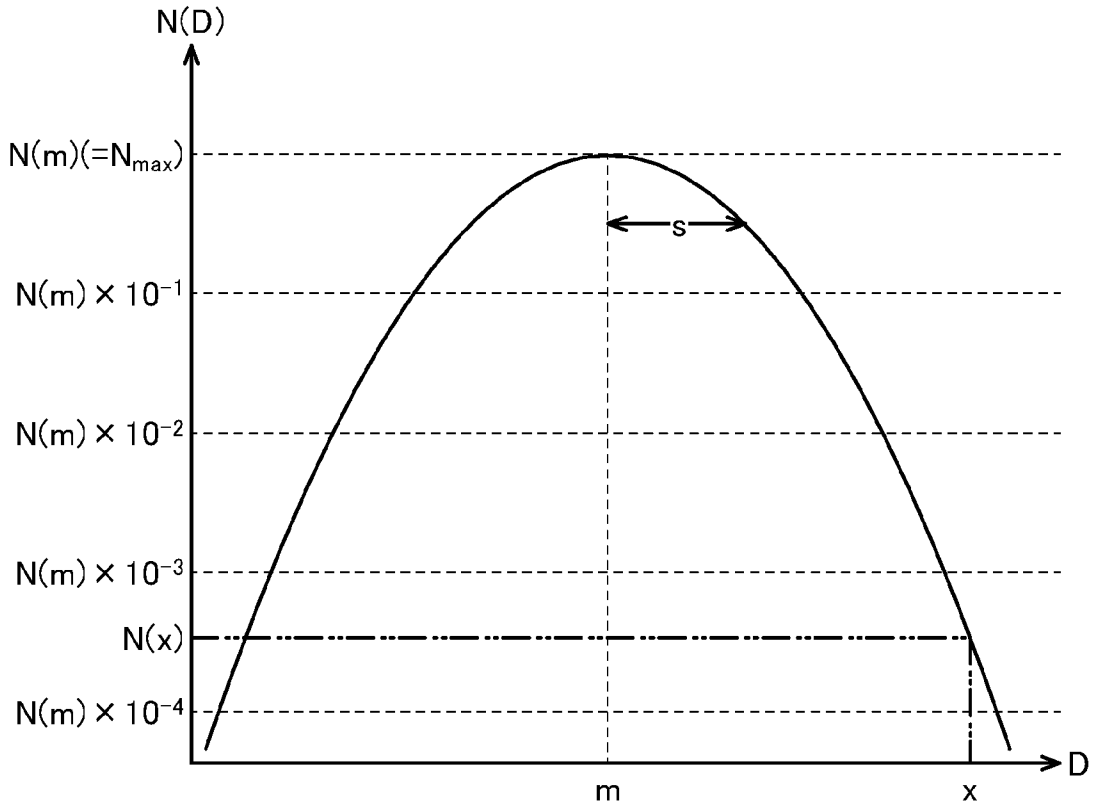


図5B

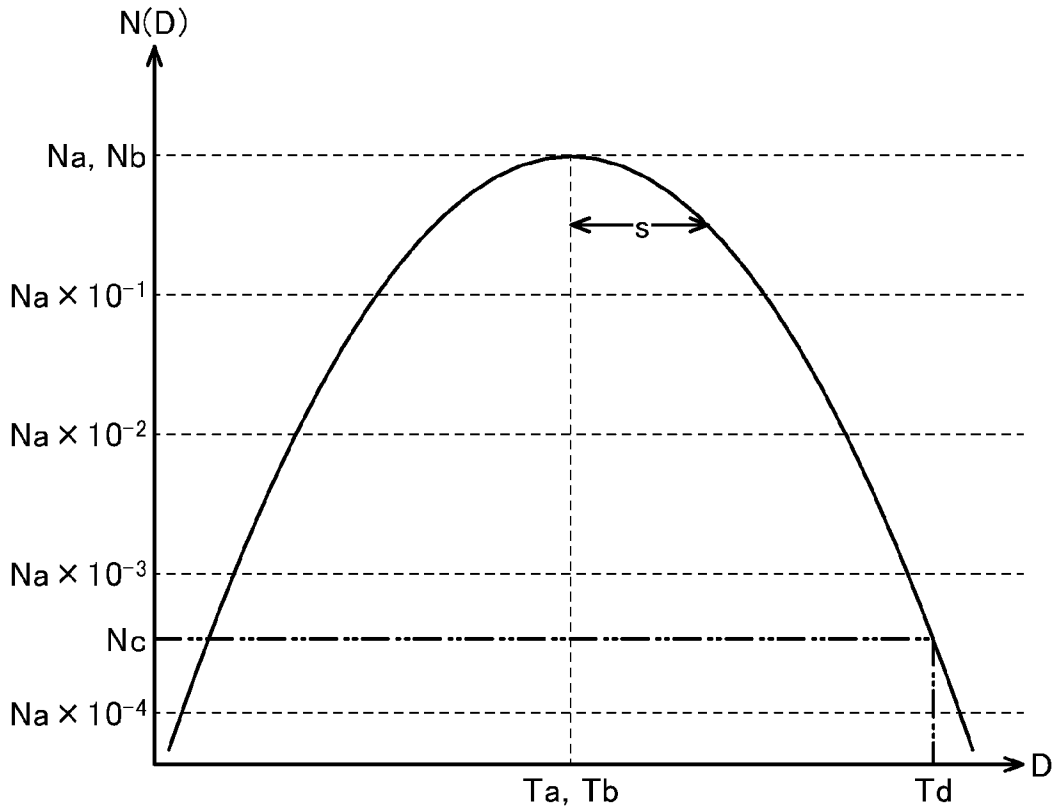


図6

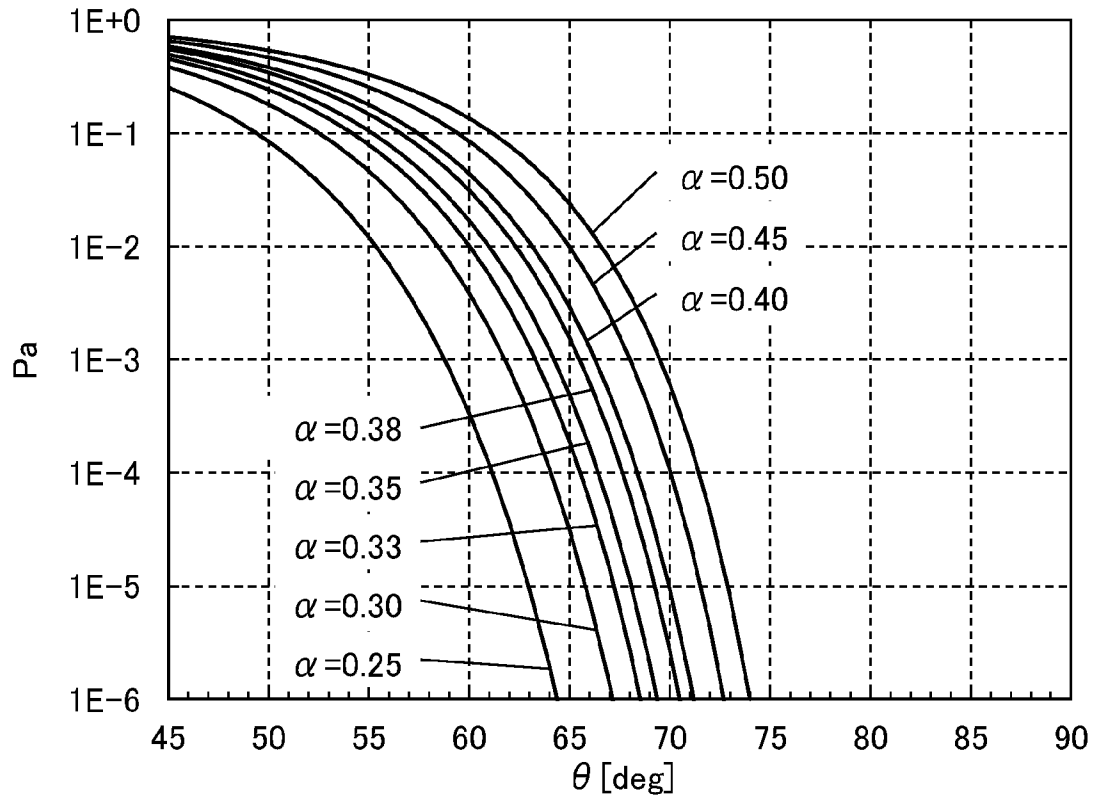


図7

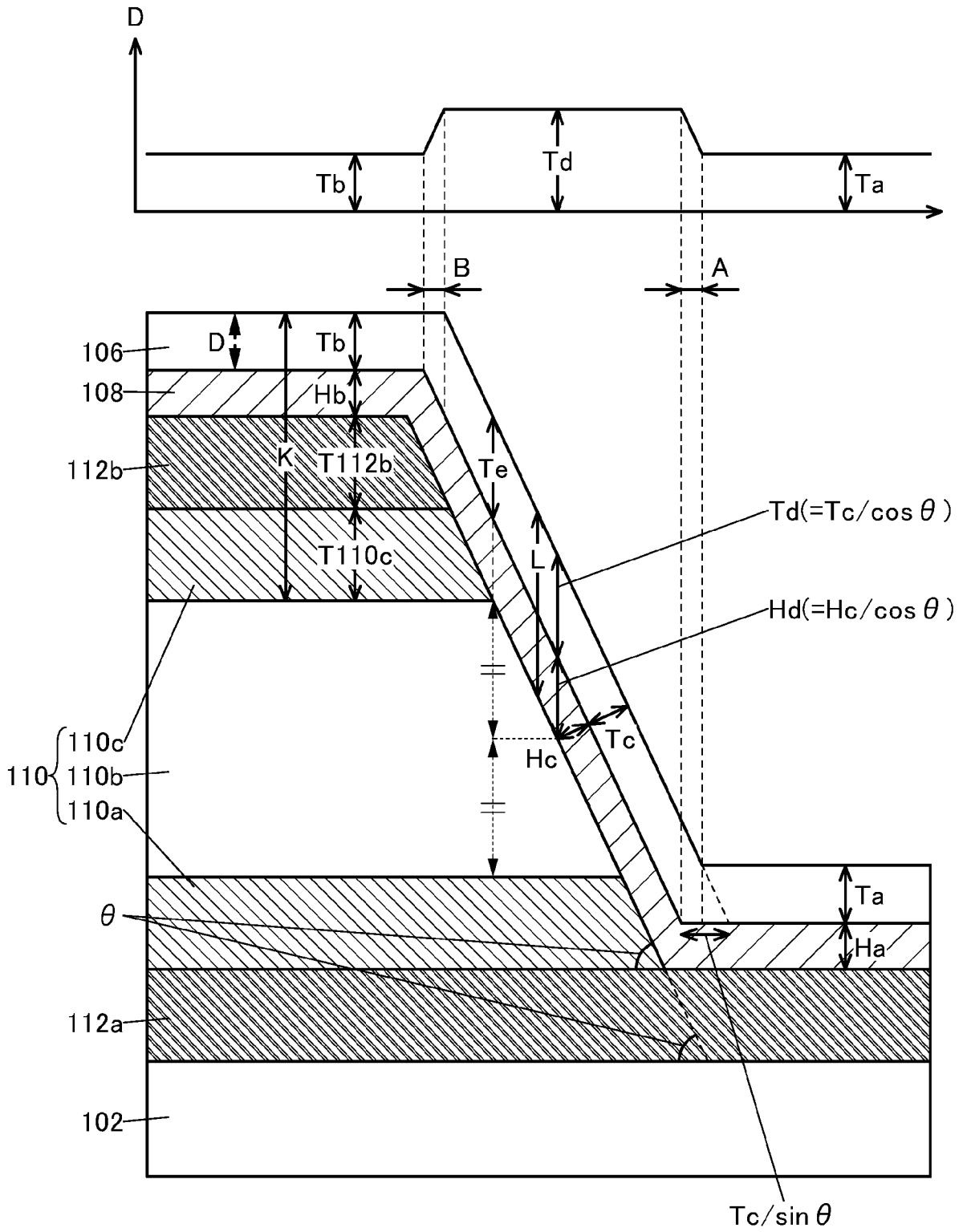


図8A

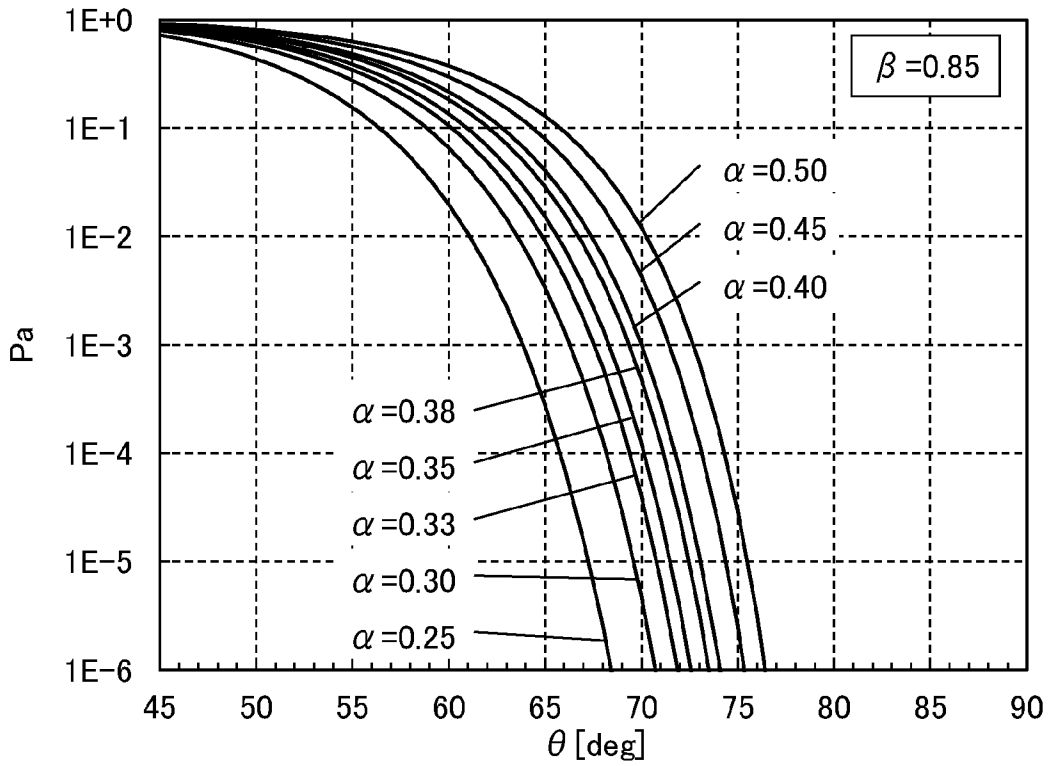
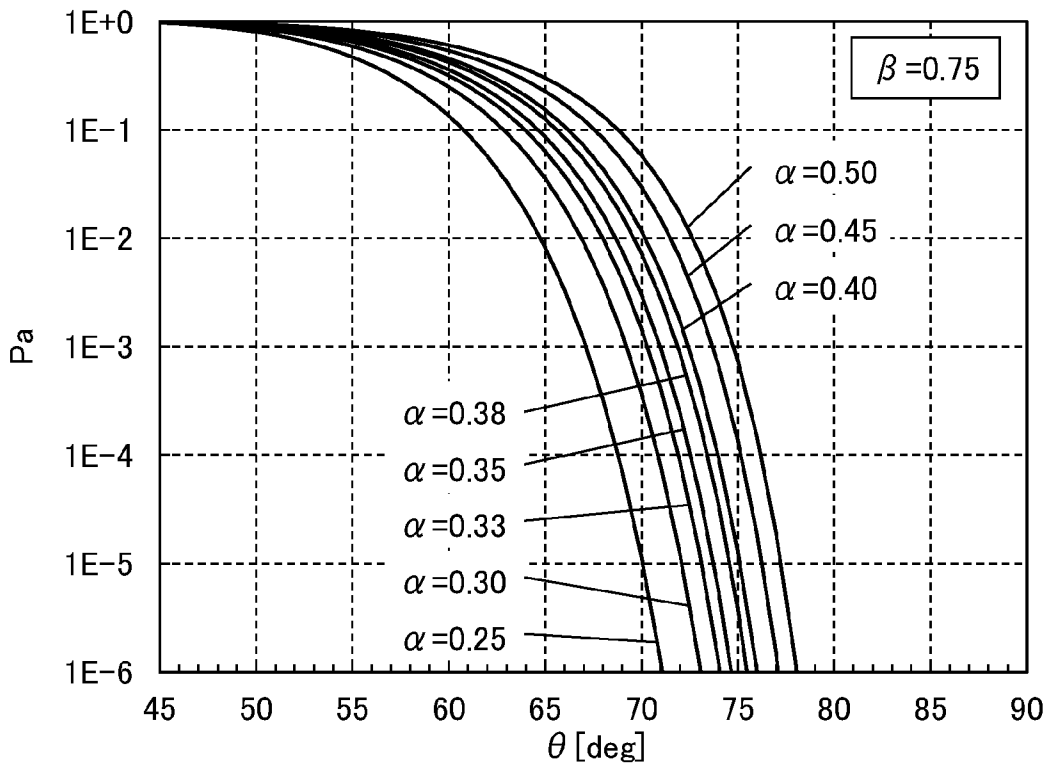


図8B



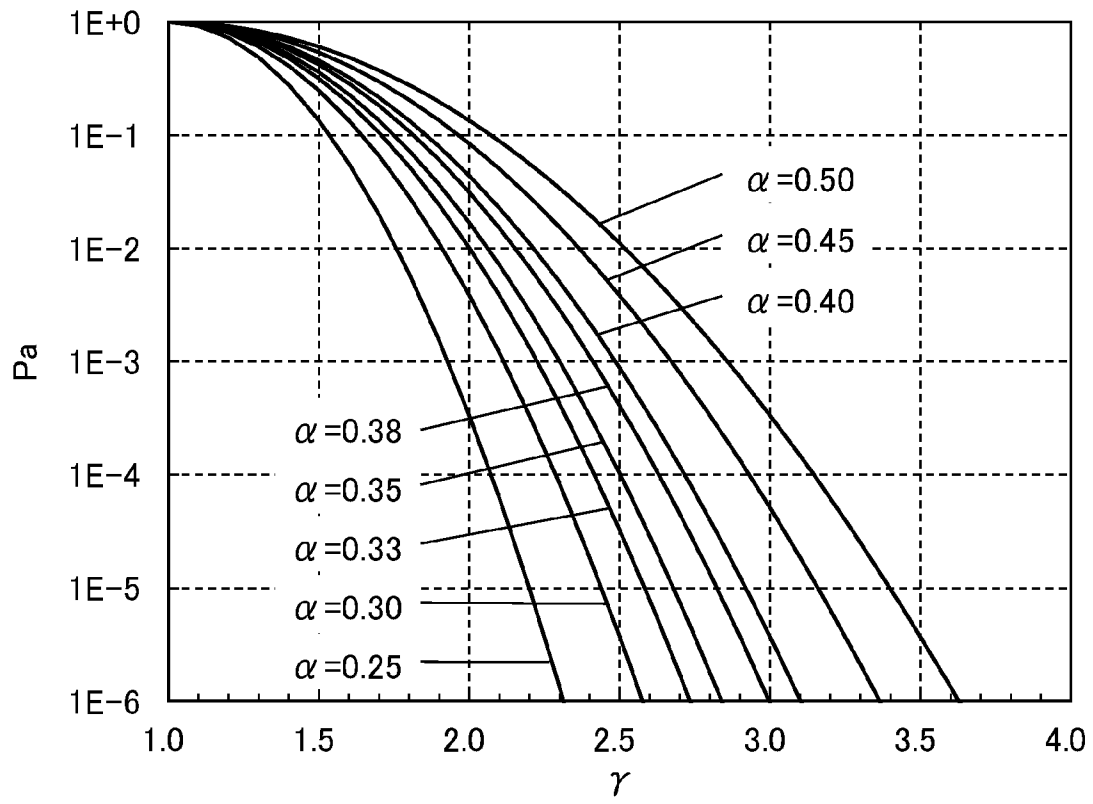
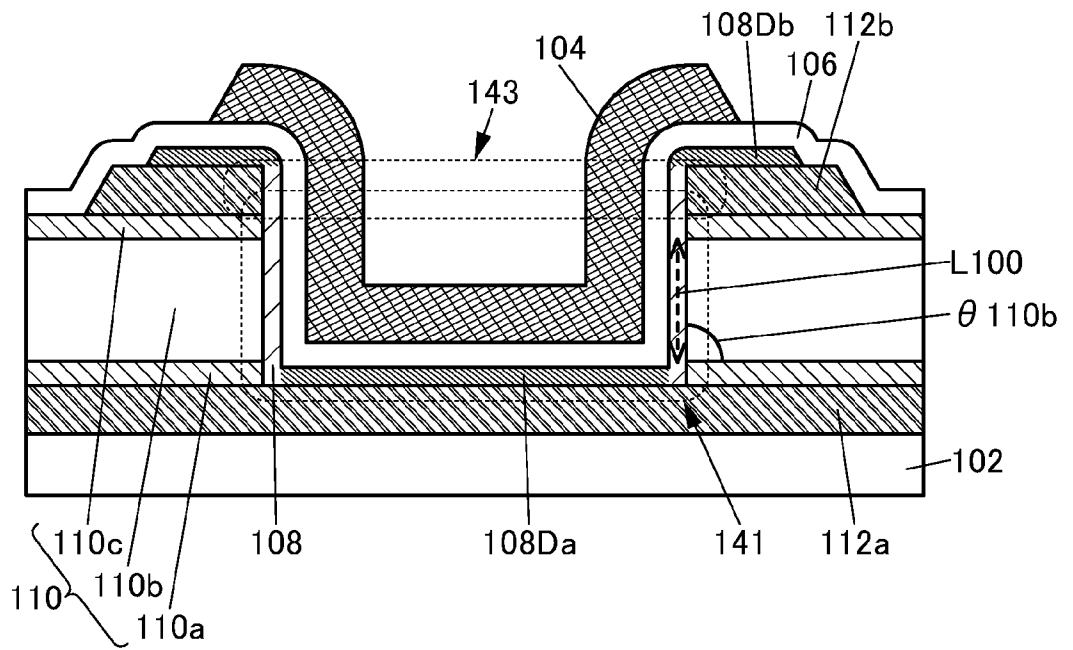


図10



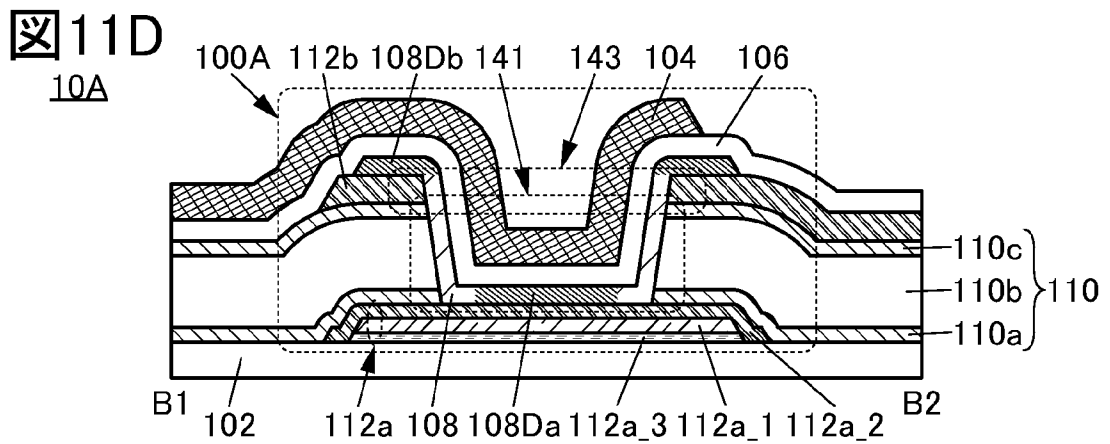
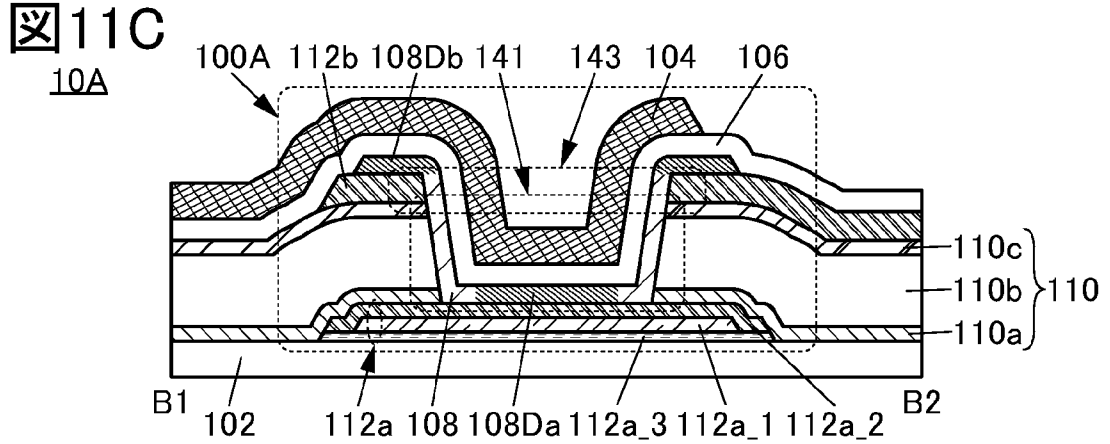
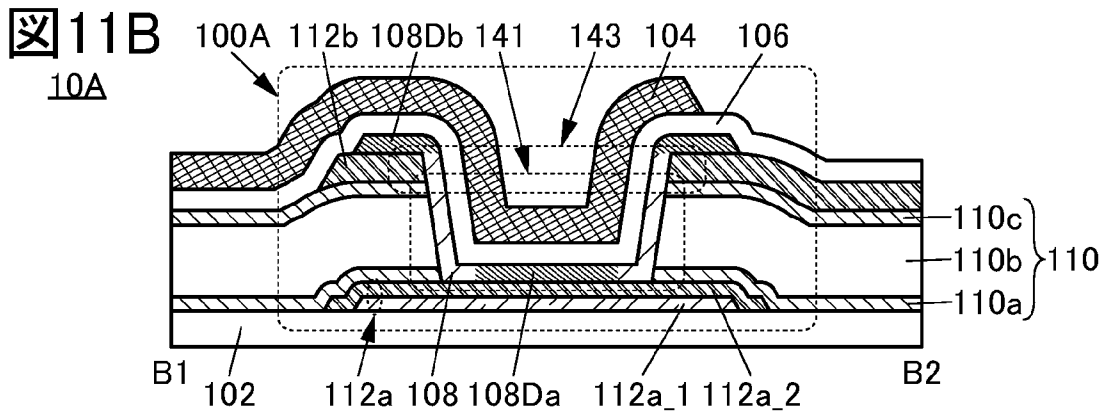
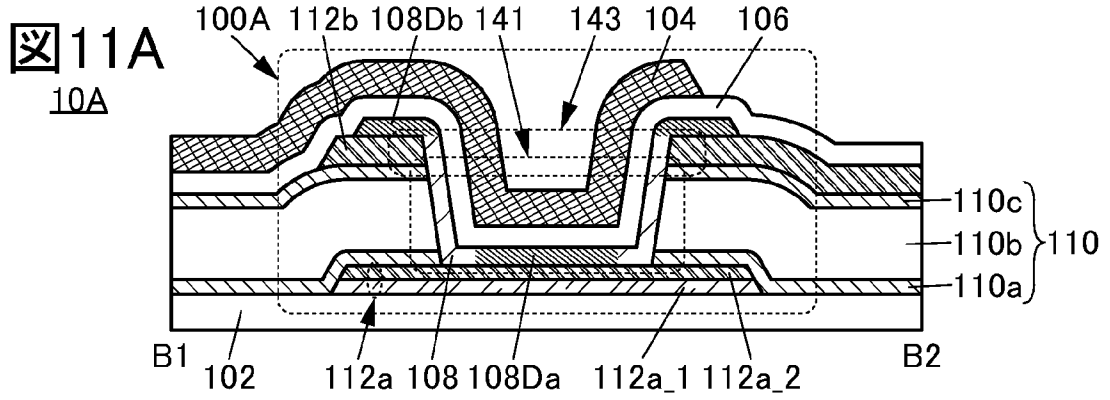


図12

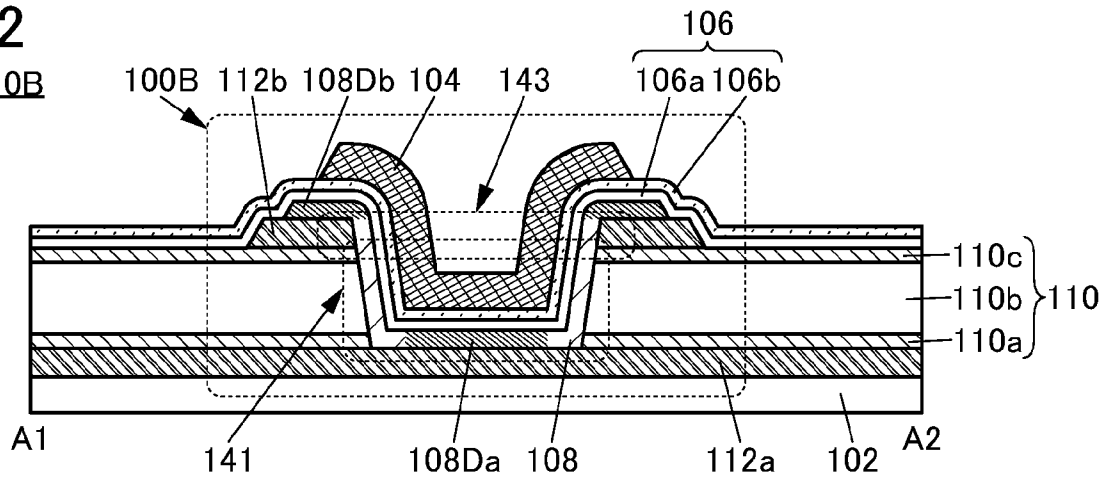


図13A

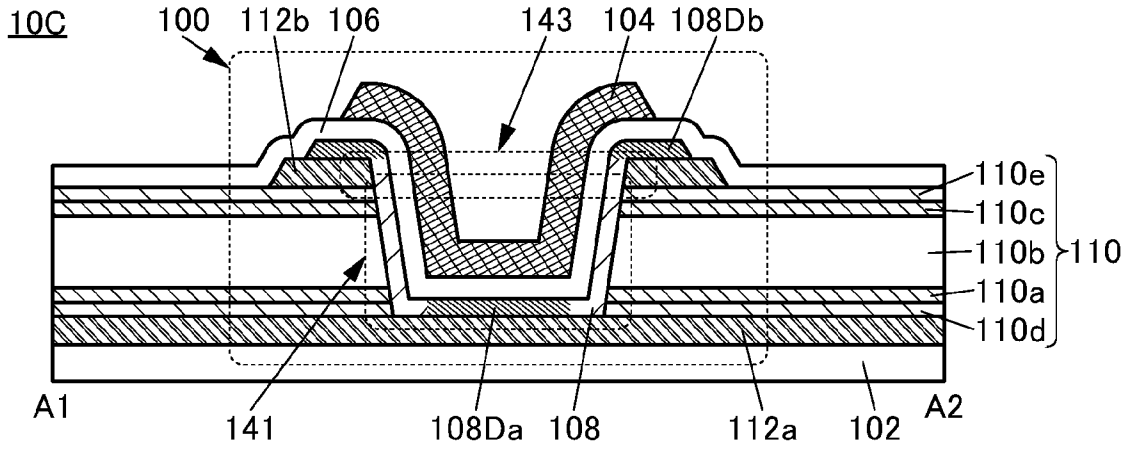


図13B

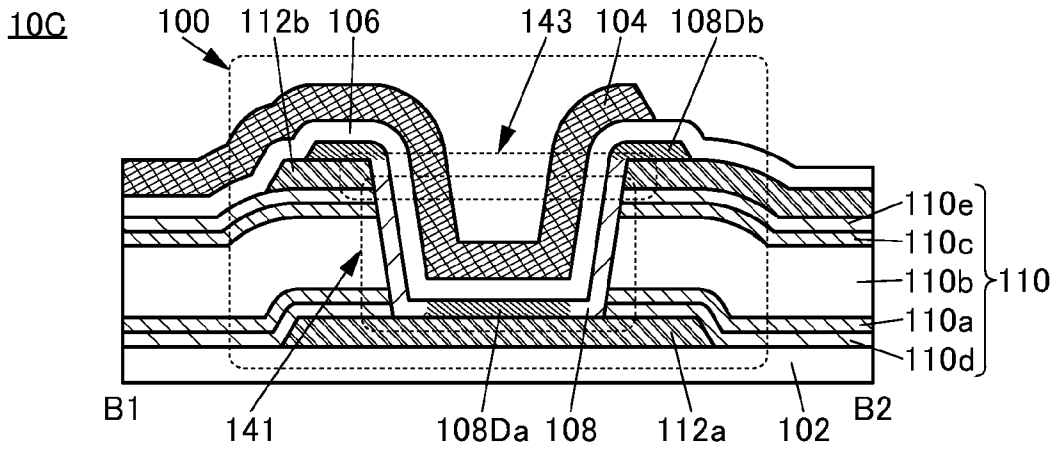
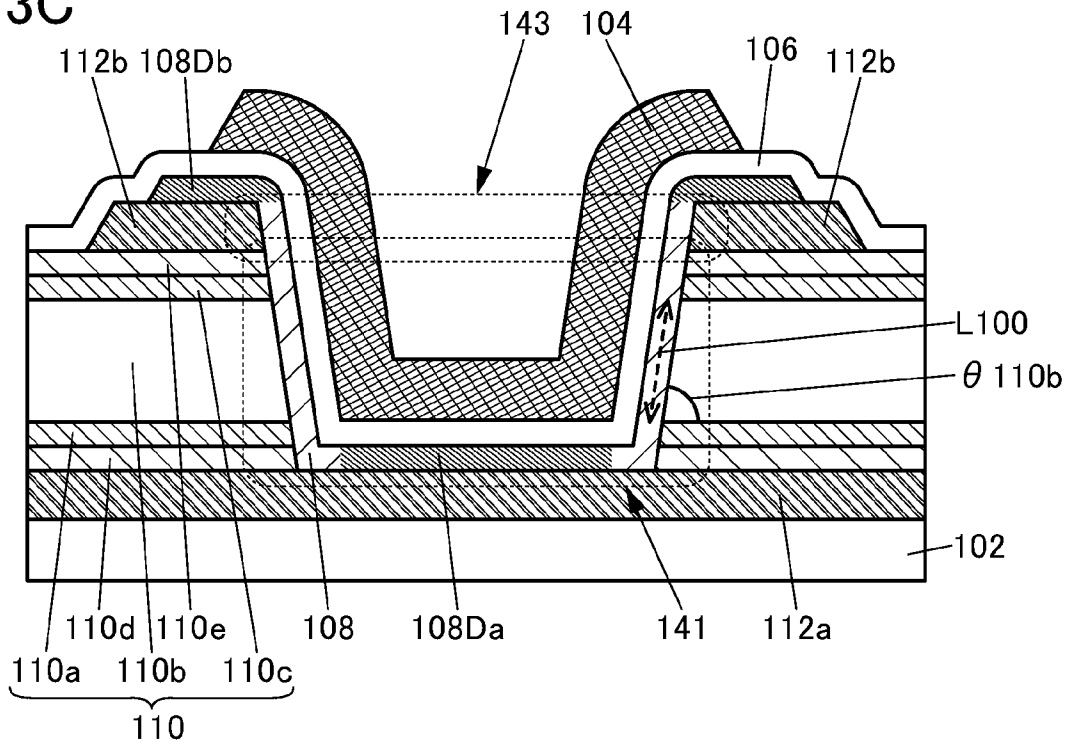
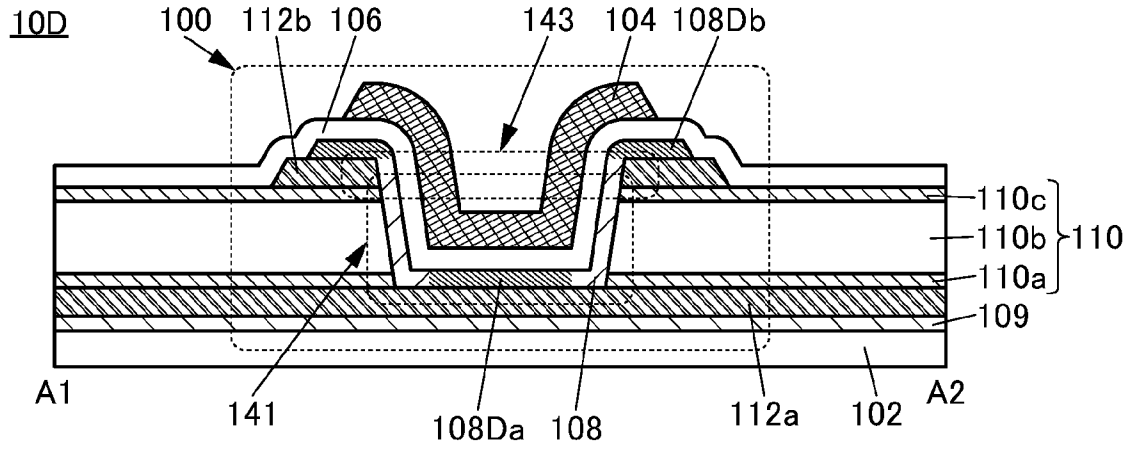


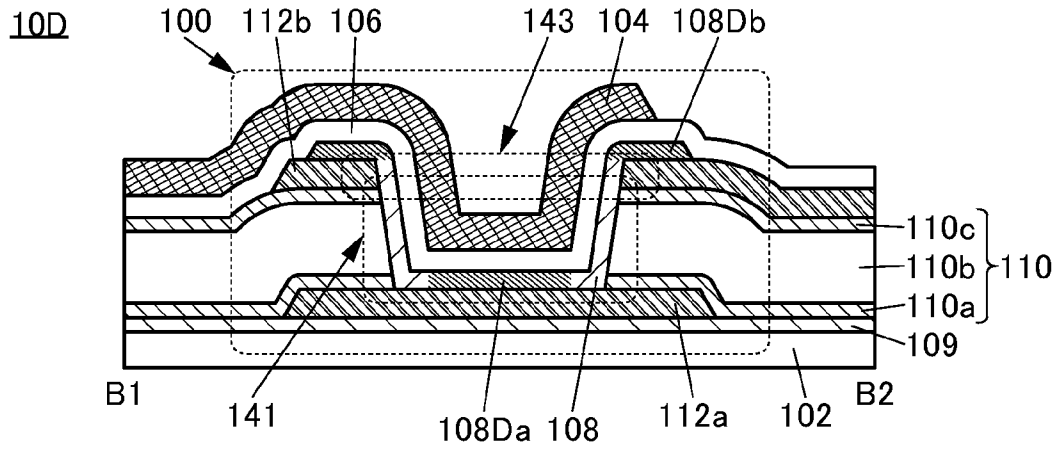
図13C



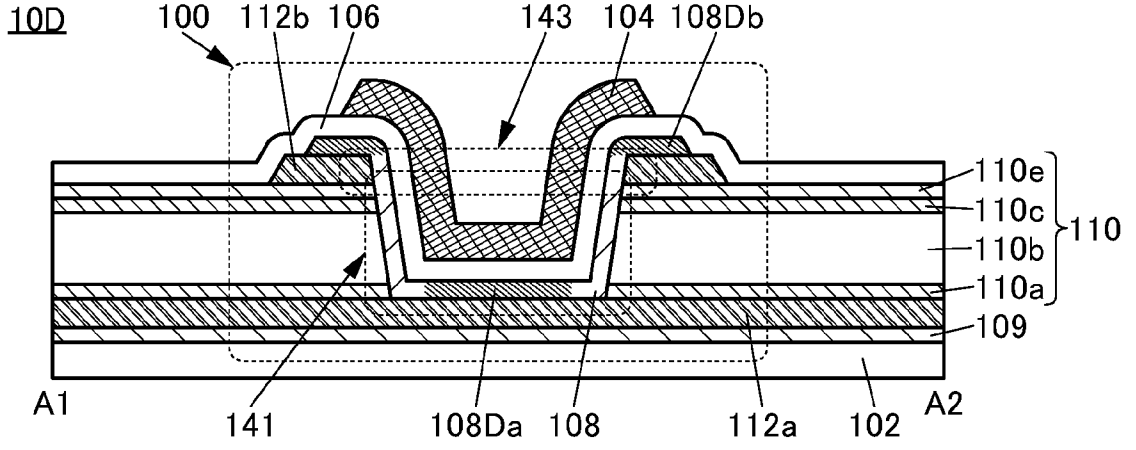
14A



14B



15A



15B

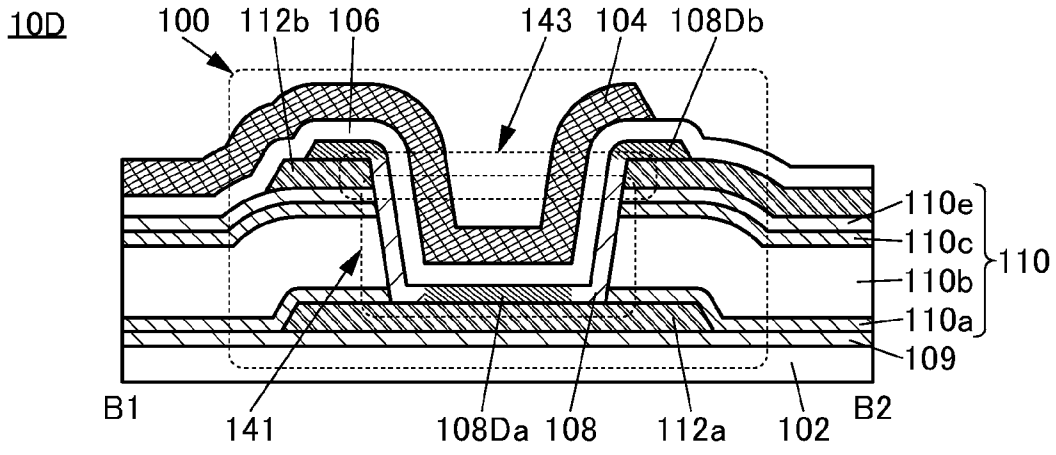


図16A

10D

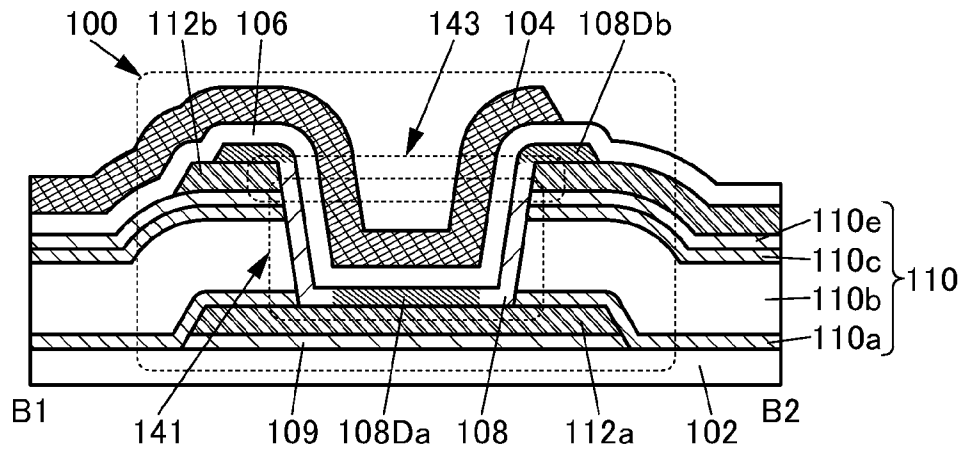


図16B

10D

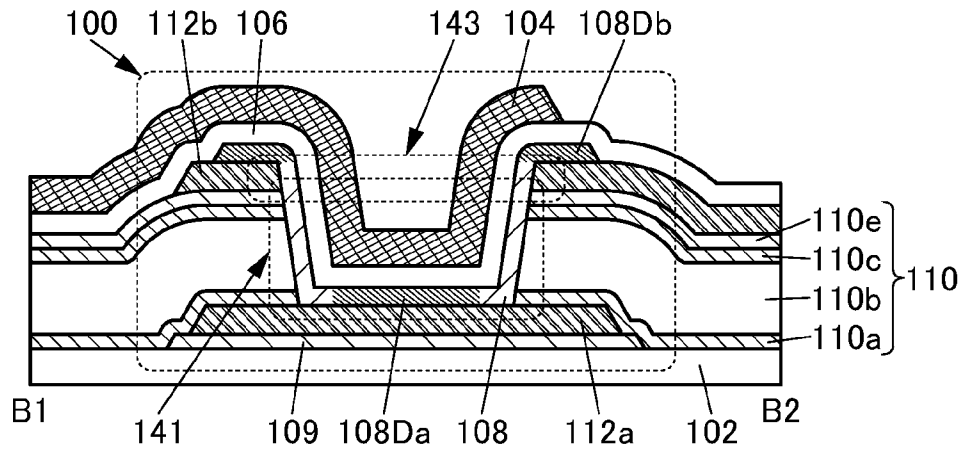


図17A

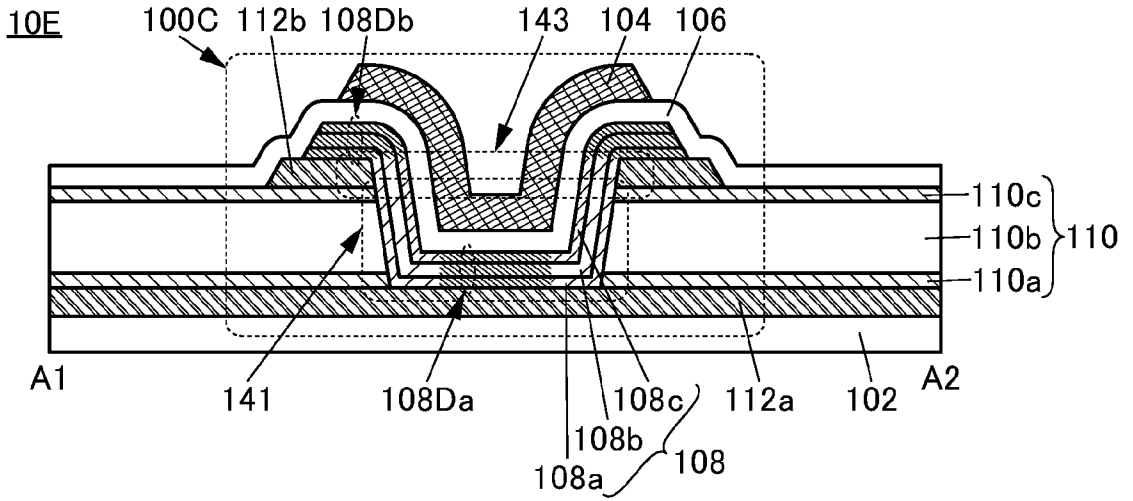


図17B

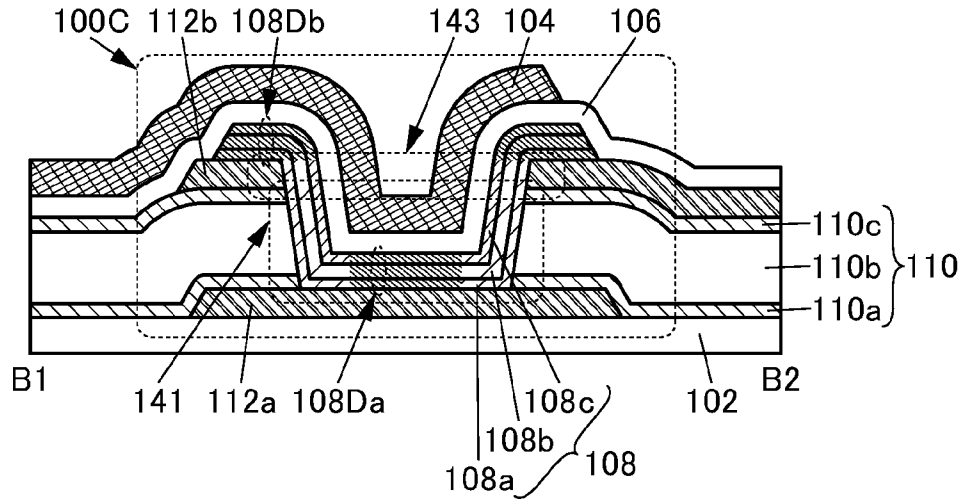


図18

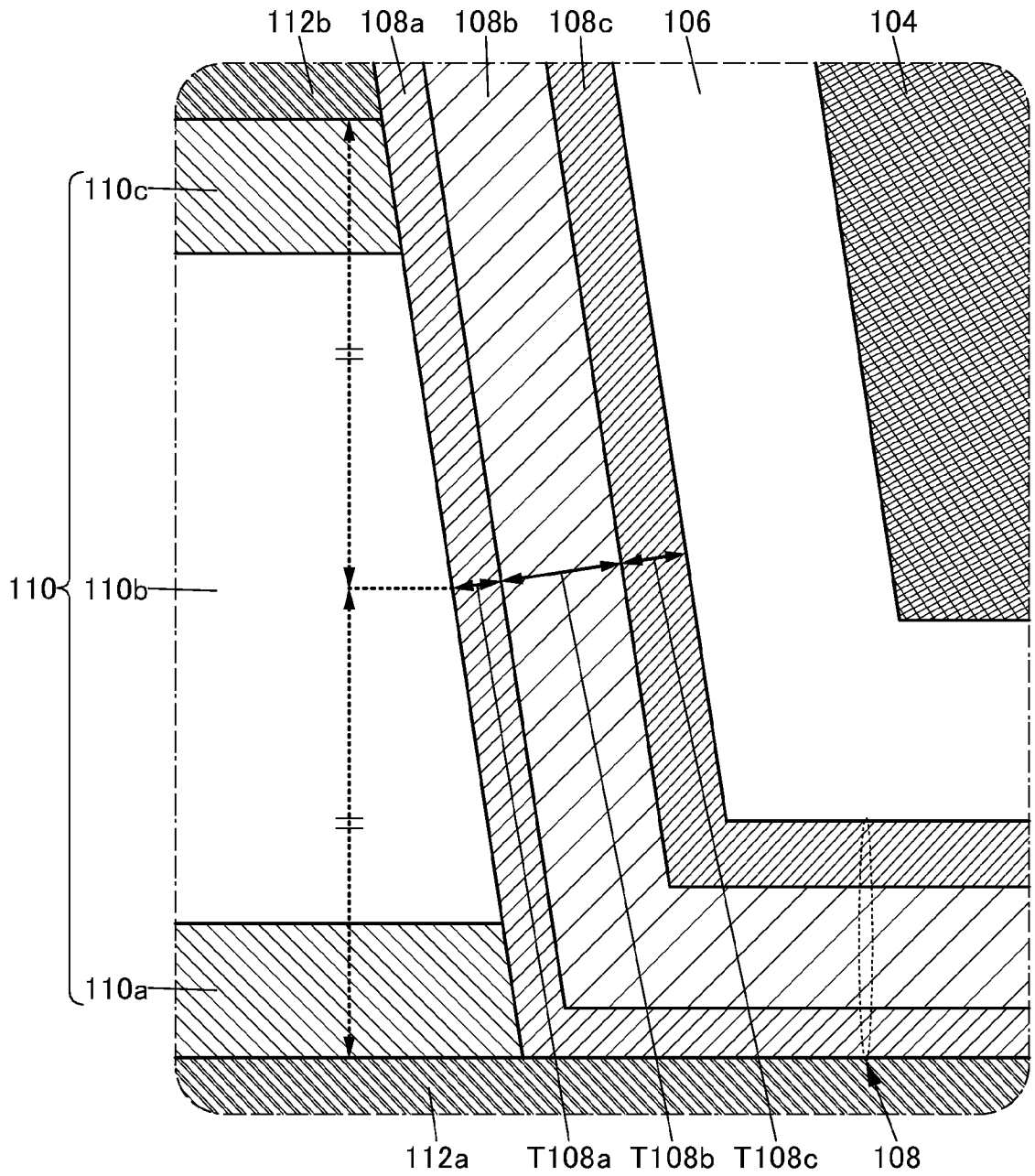


図19A

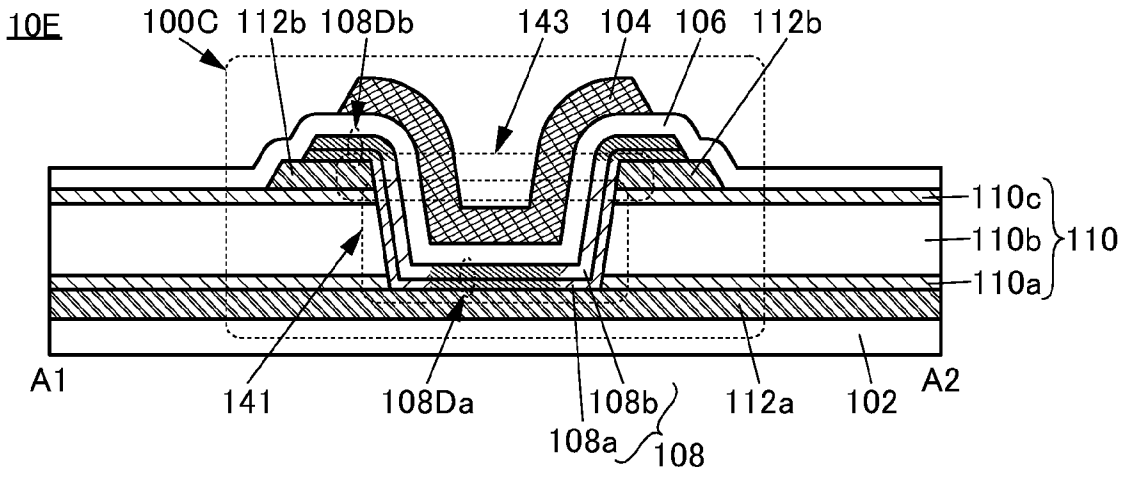
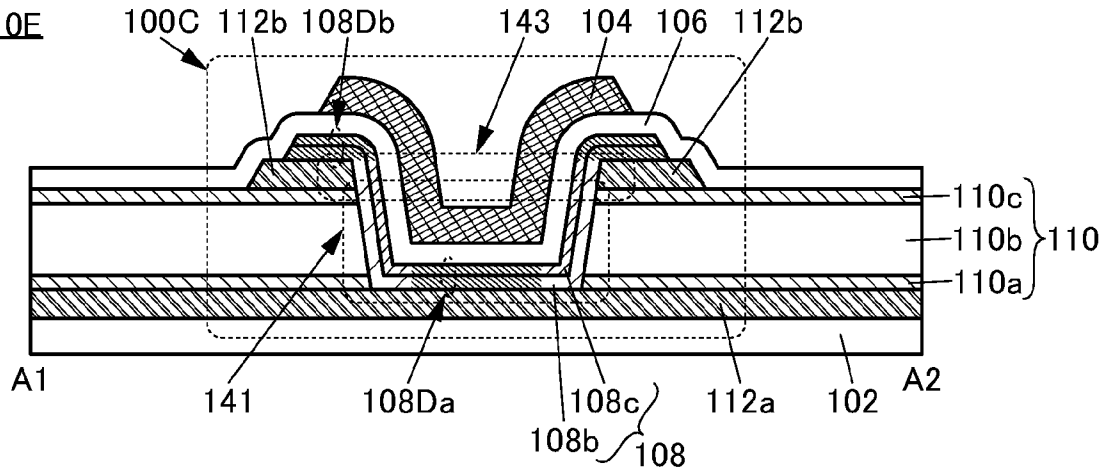
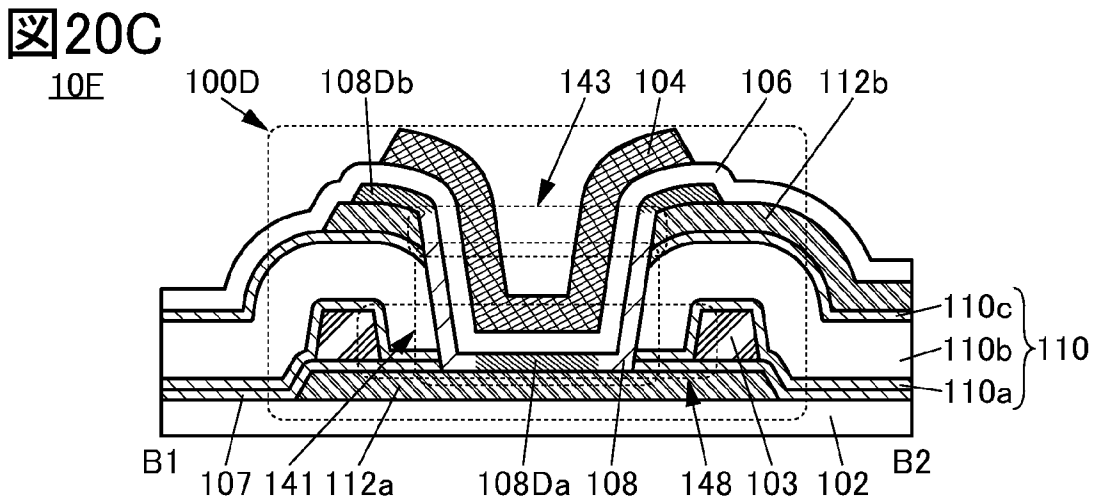
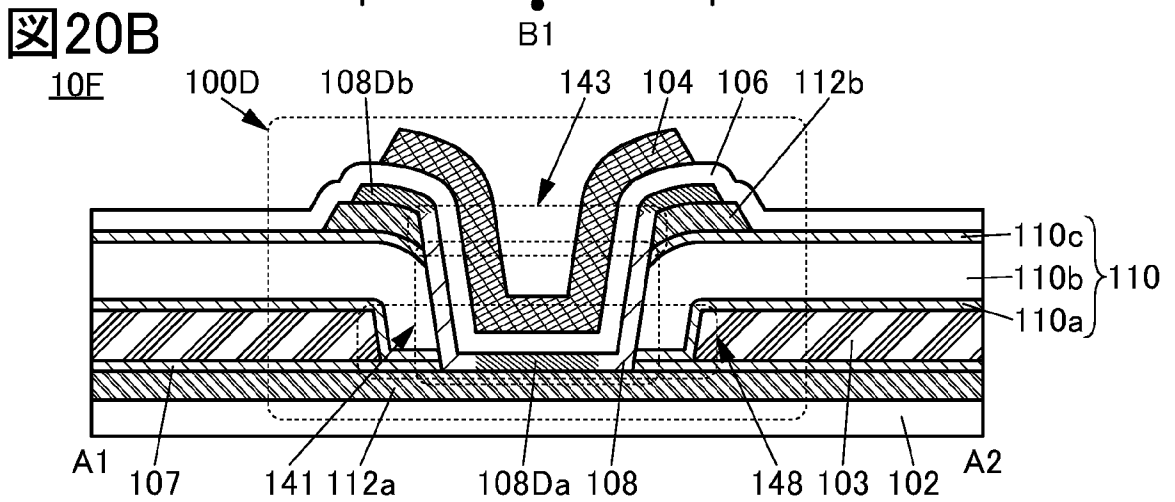
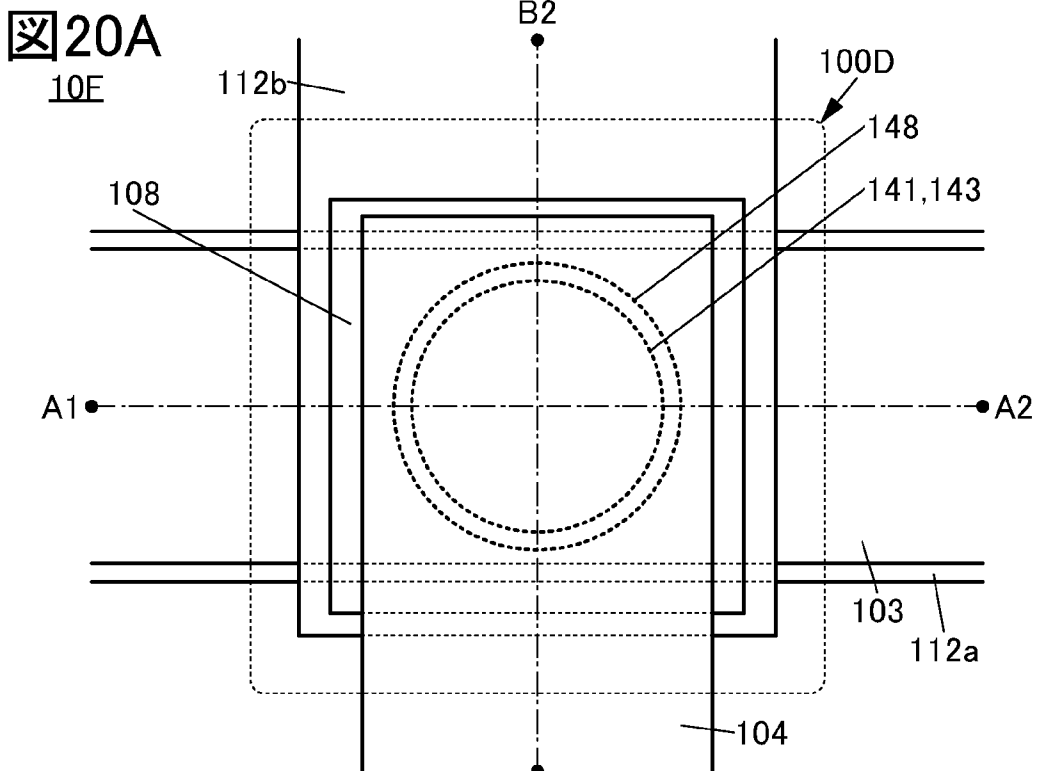
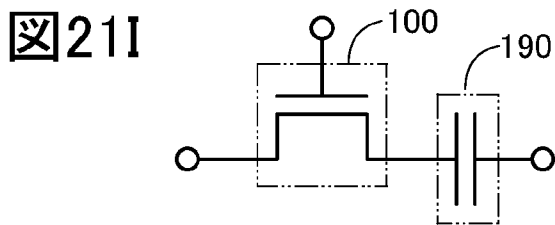
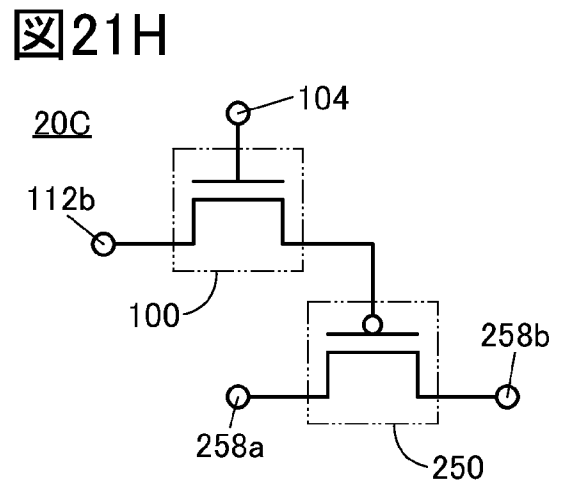
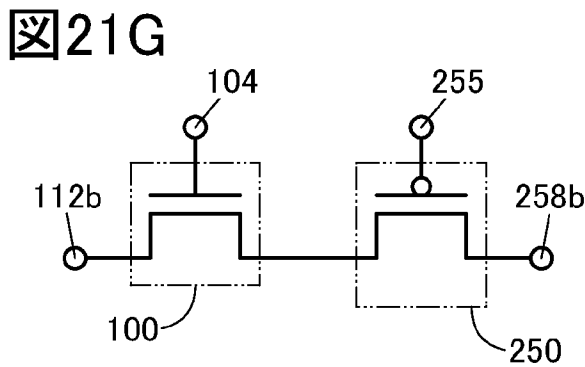
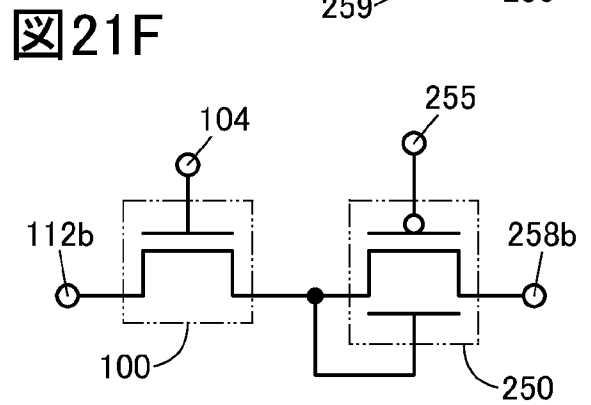
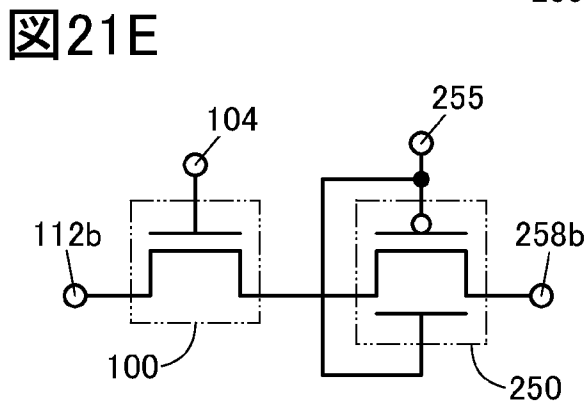
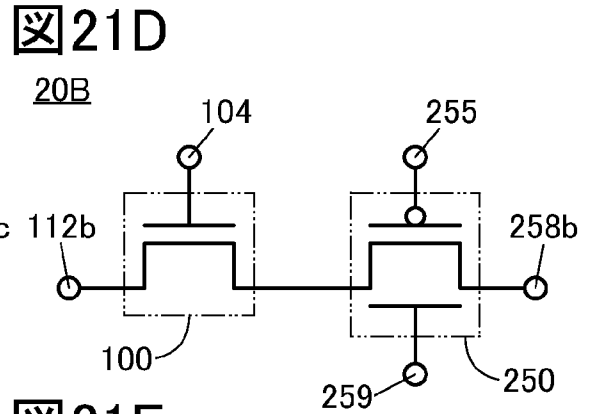
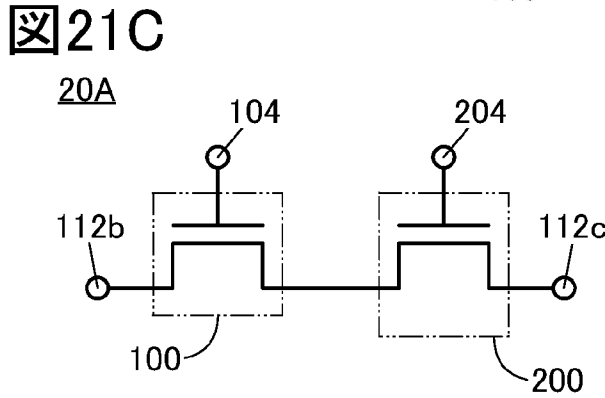
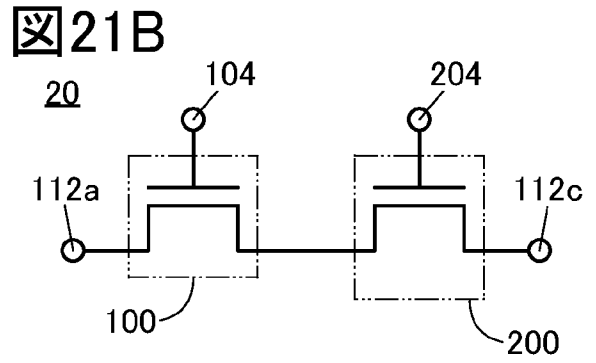
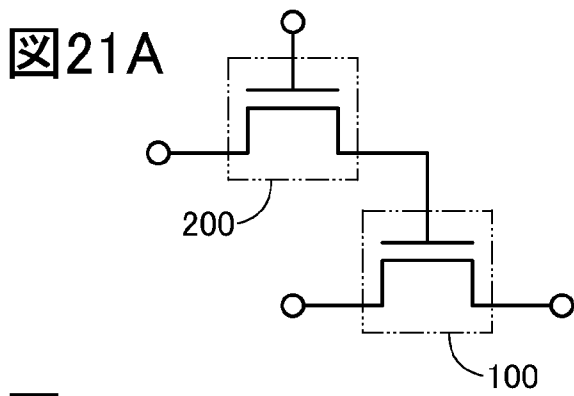


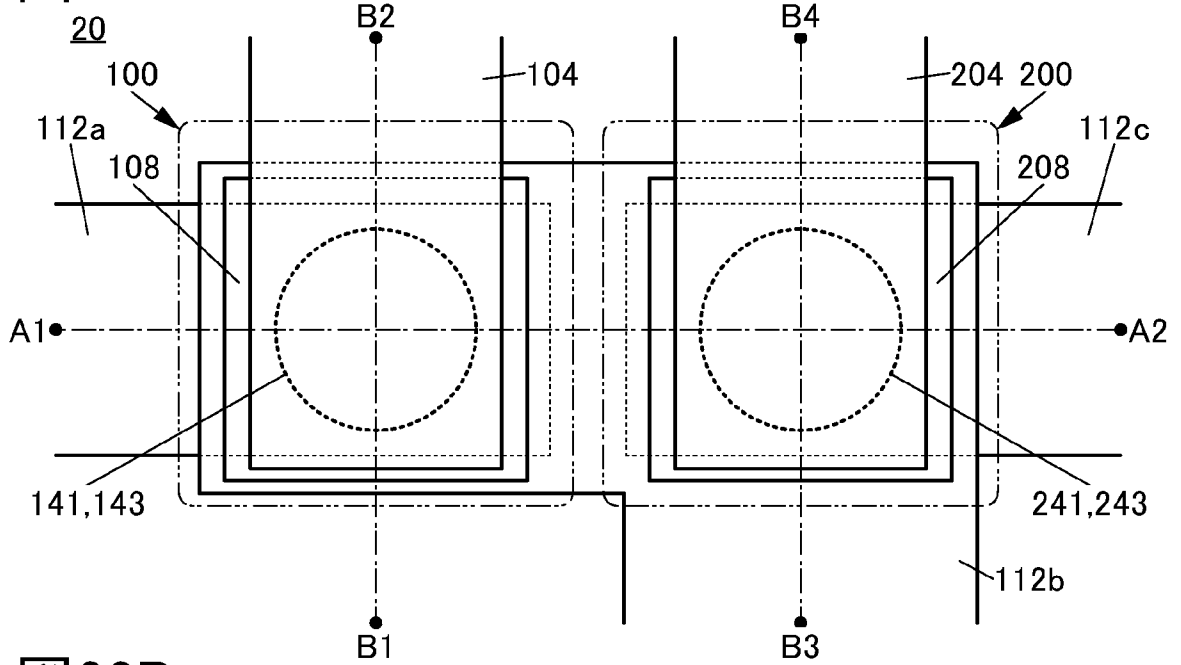
図19B



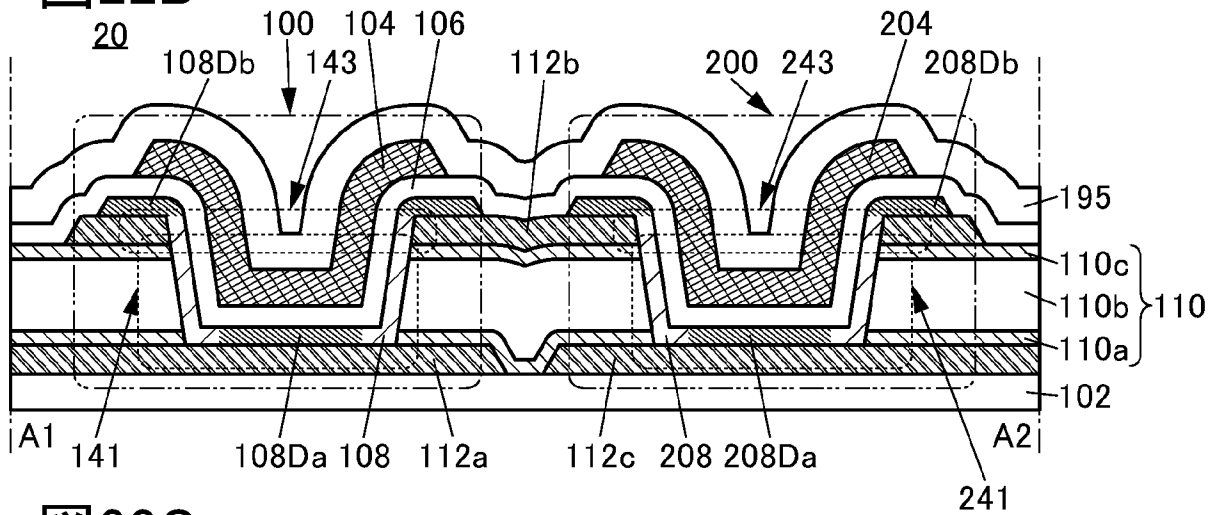




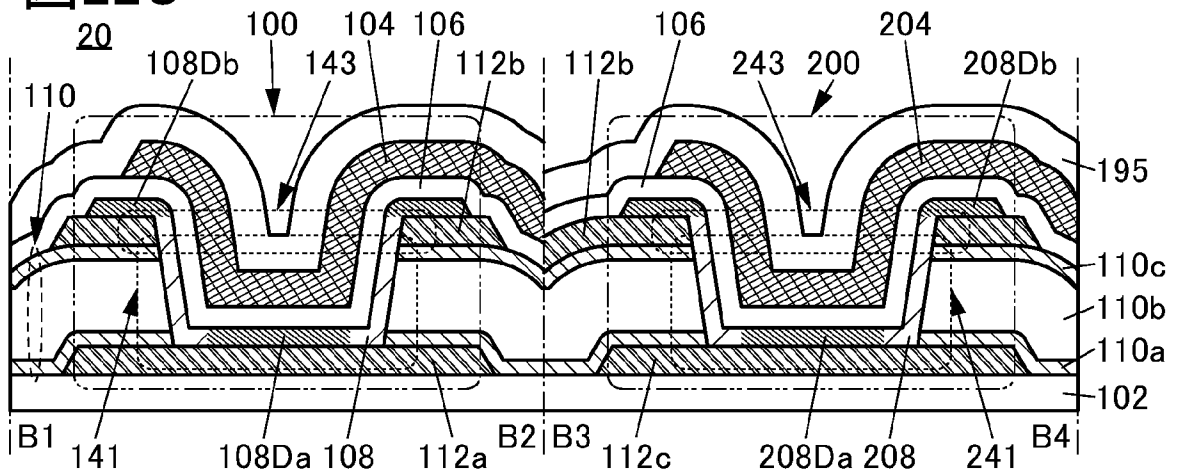
22A



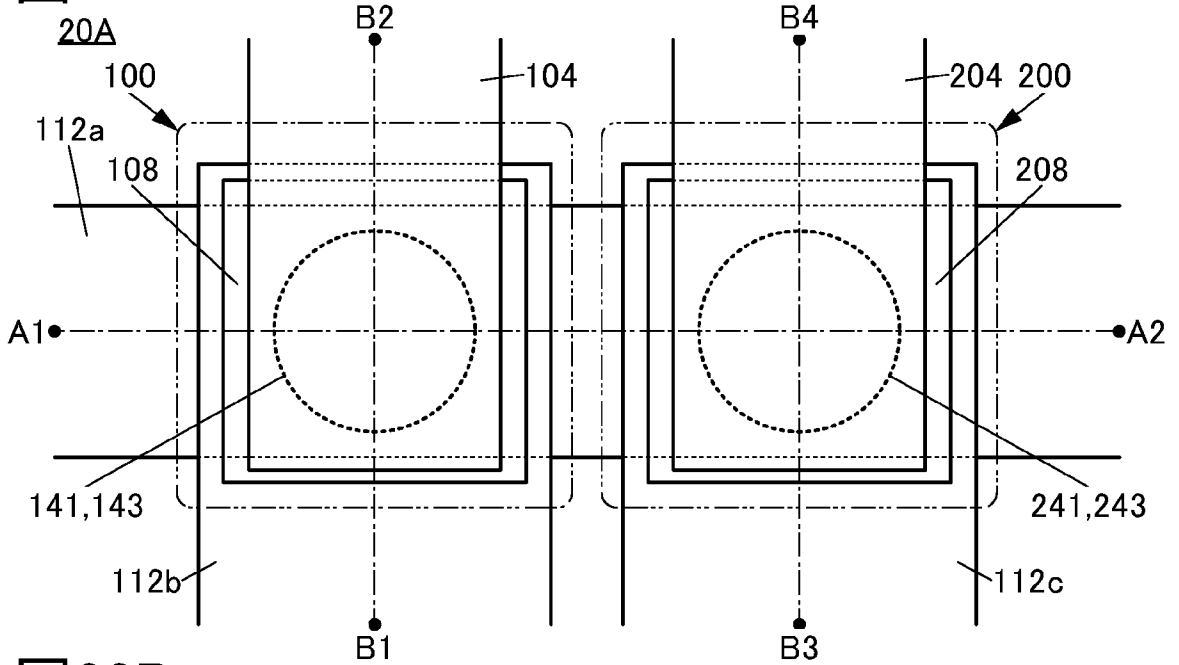
22B



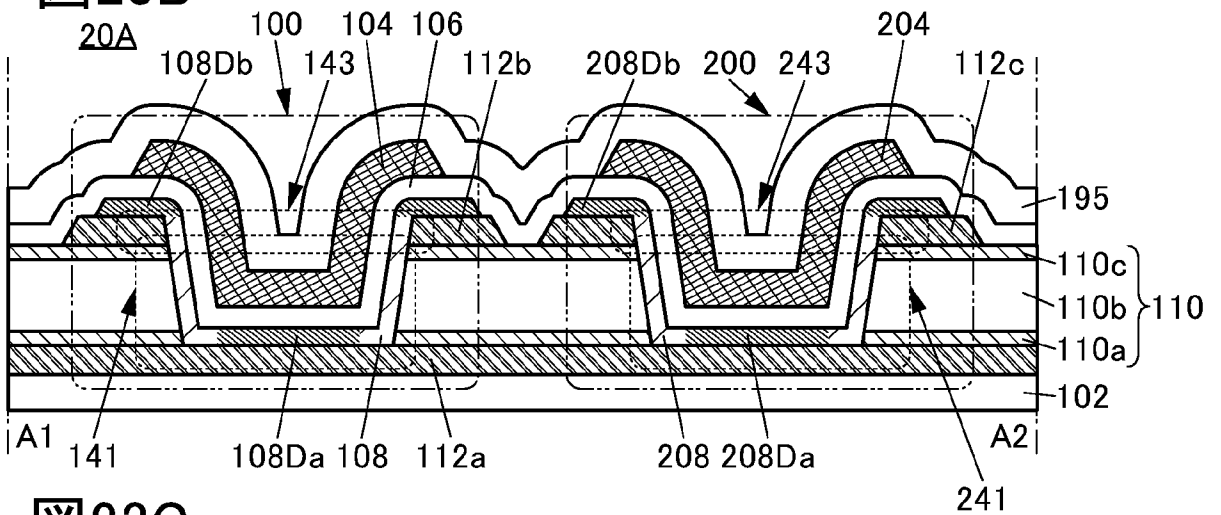
22C



23A



23B



23C

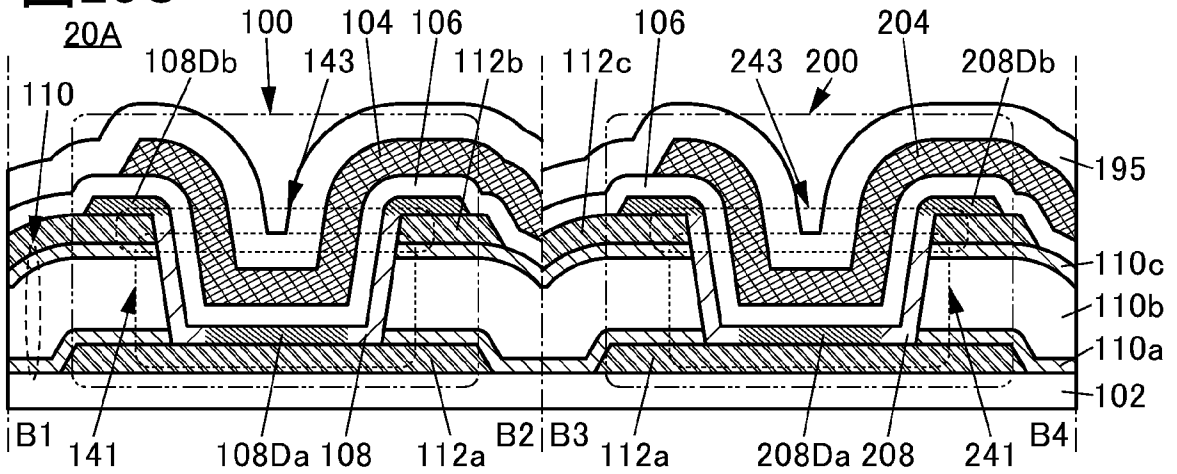


図24A

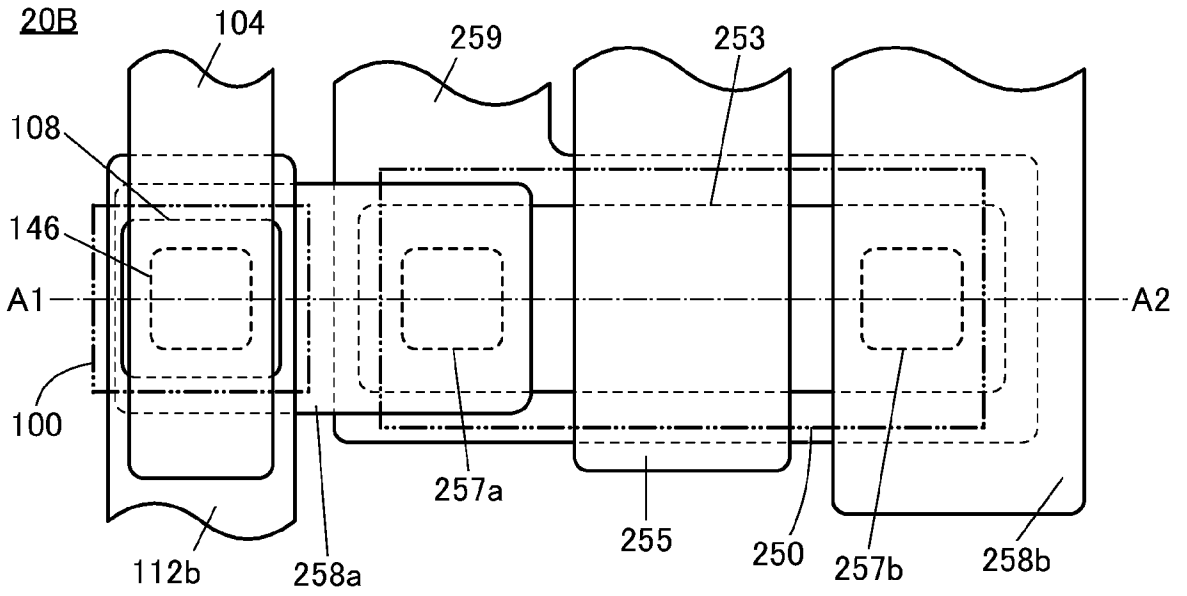
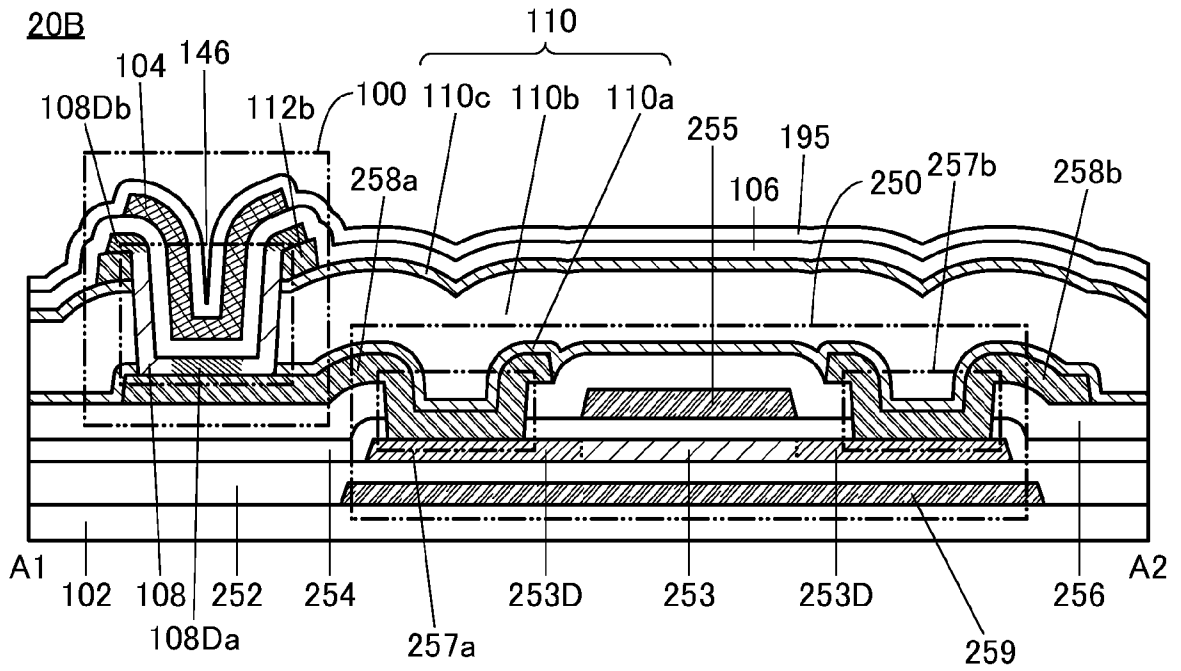
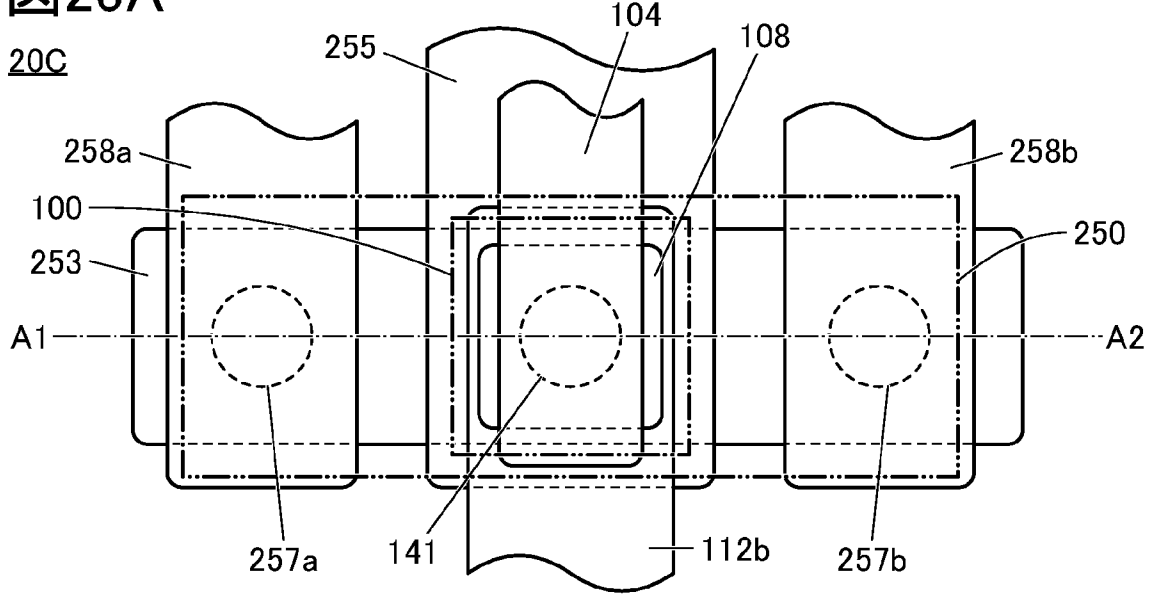


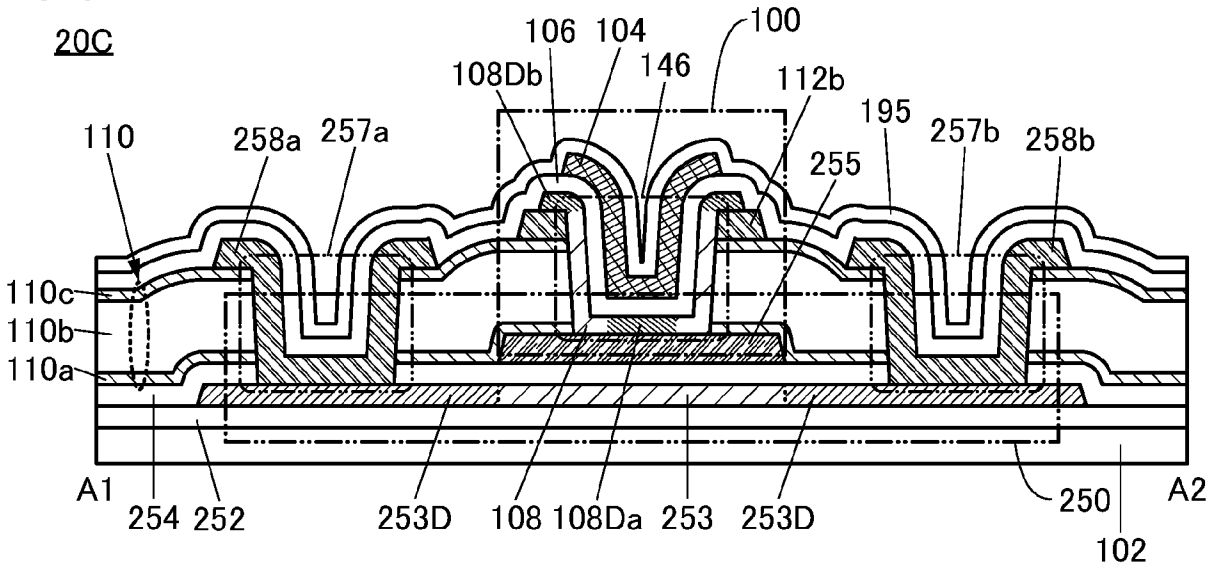
図24B

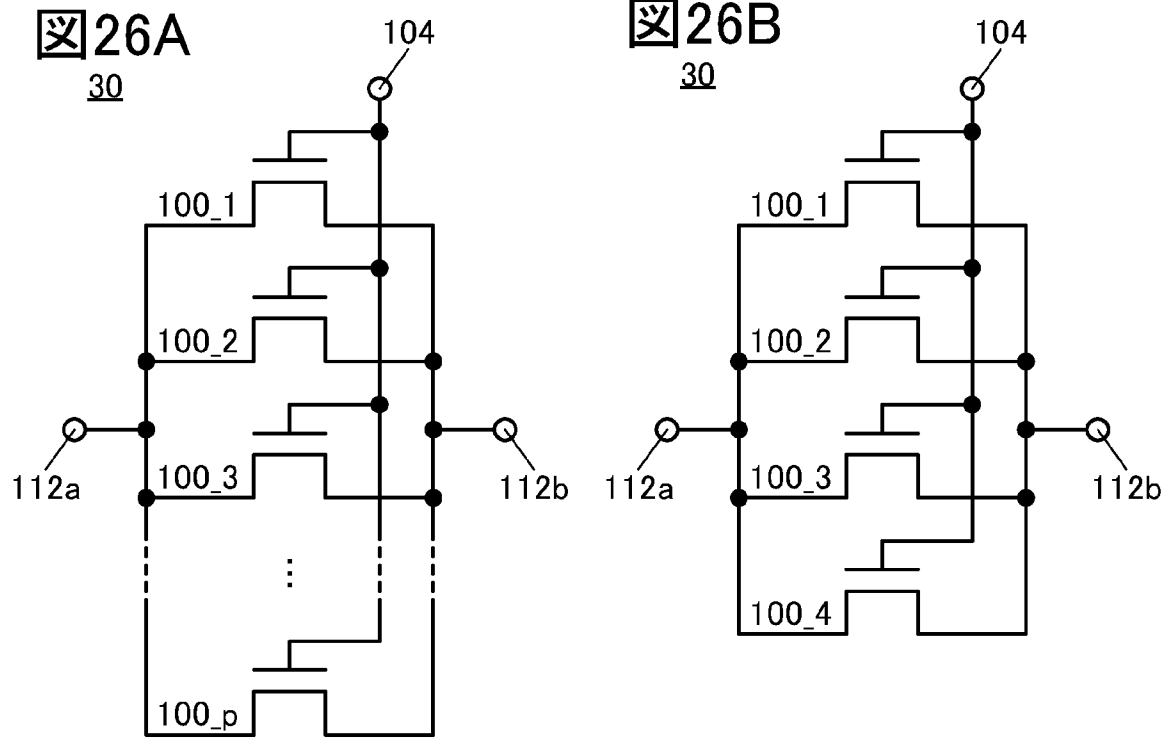


25A



25B





26C  
30

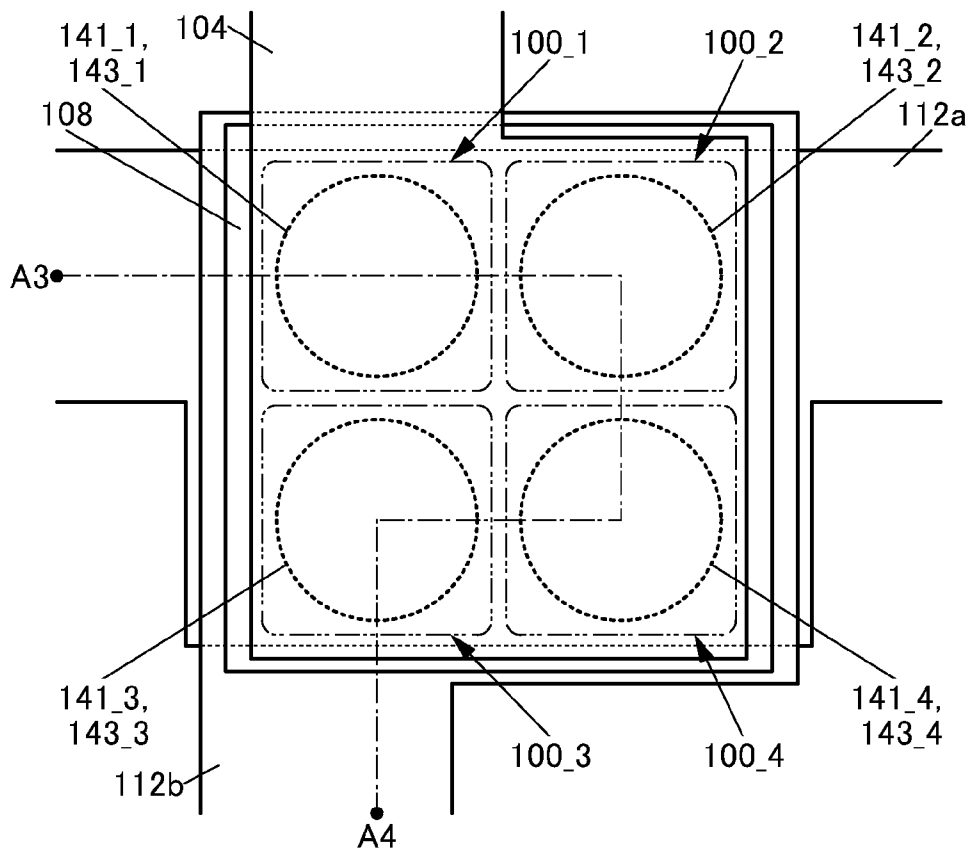
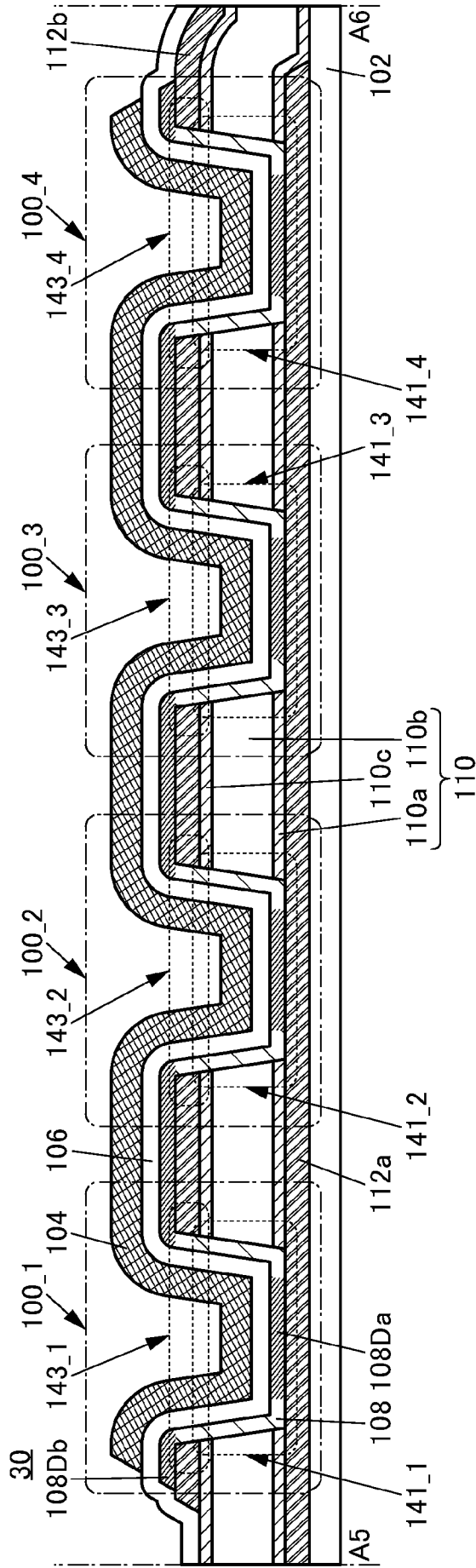
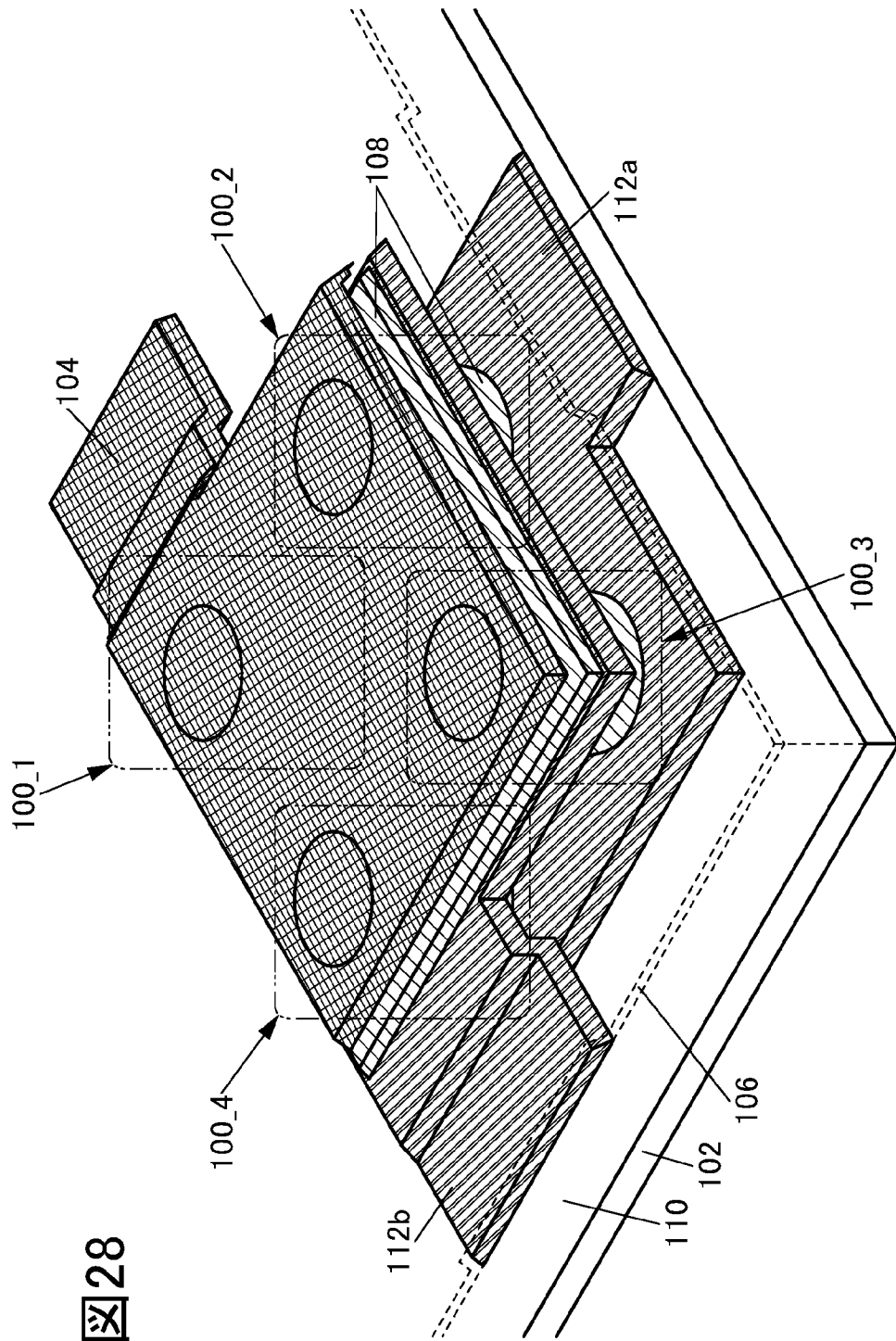
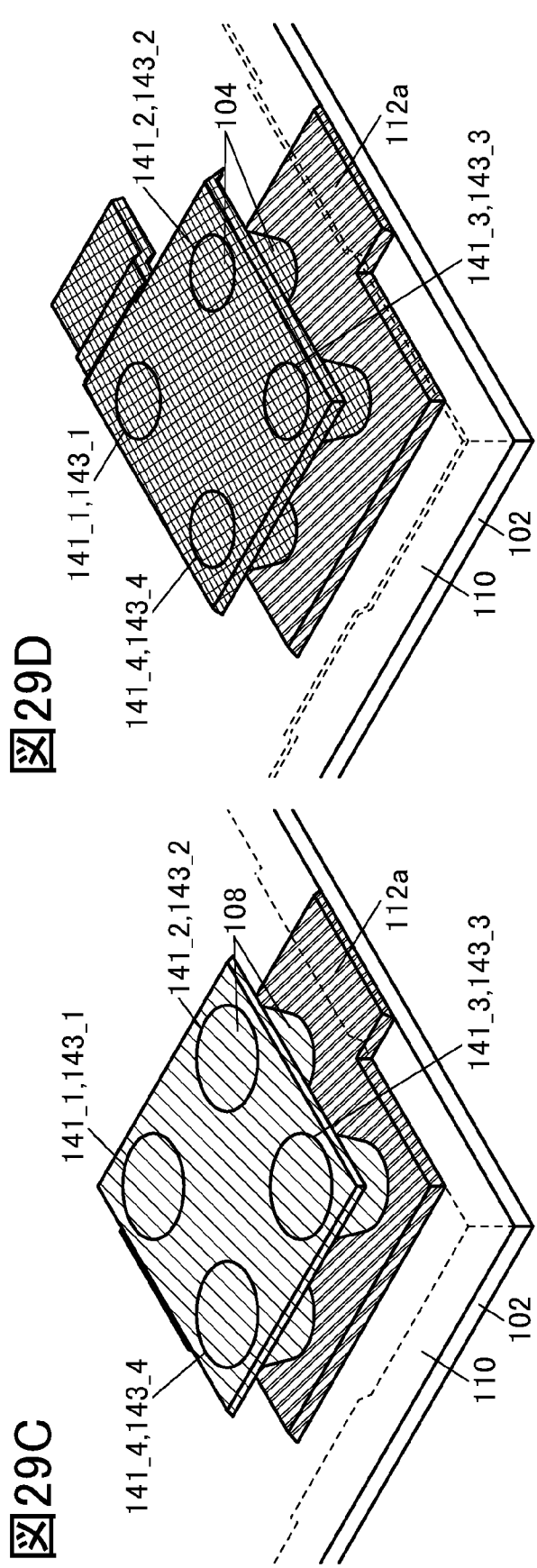
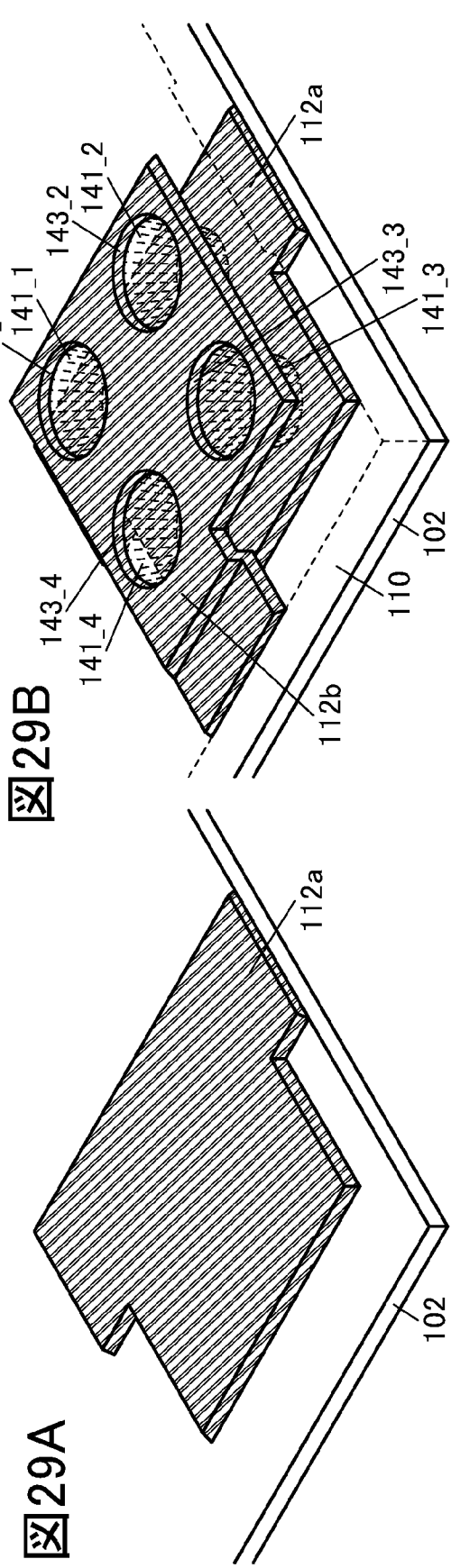


图 27



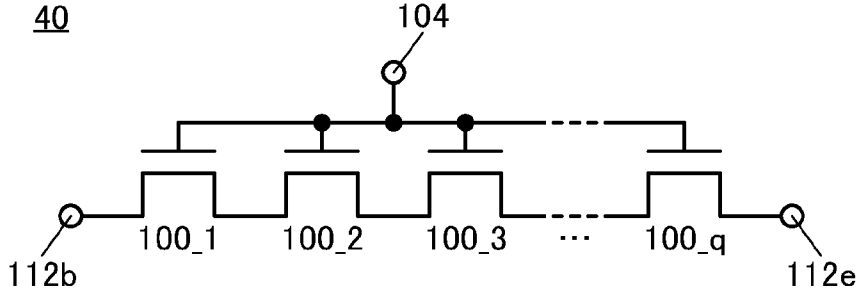


28



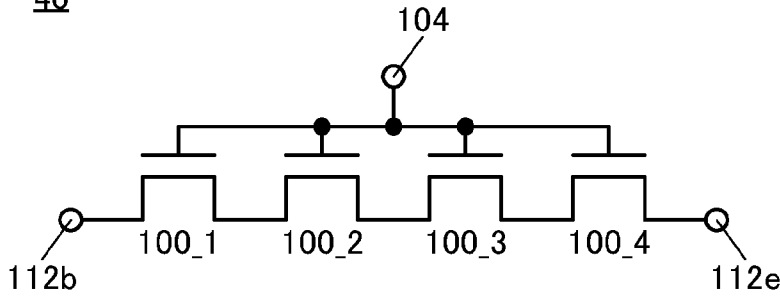
30A

40



30B

40



30C

40

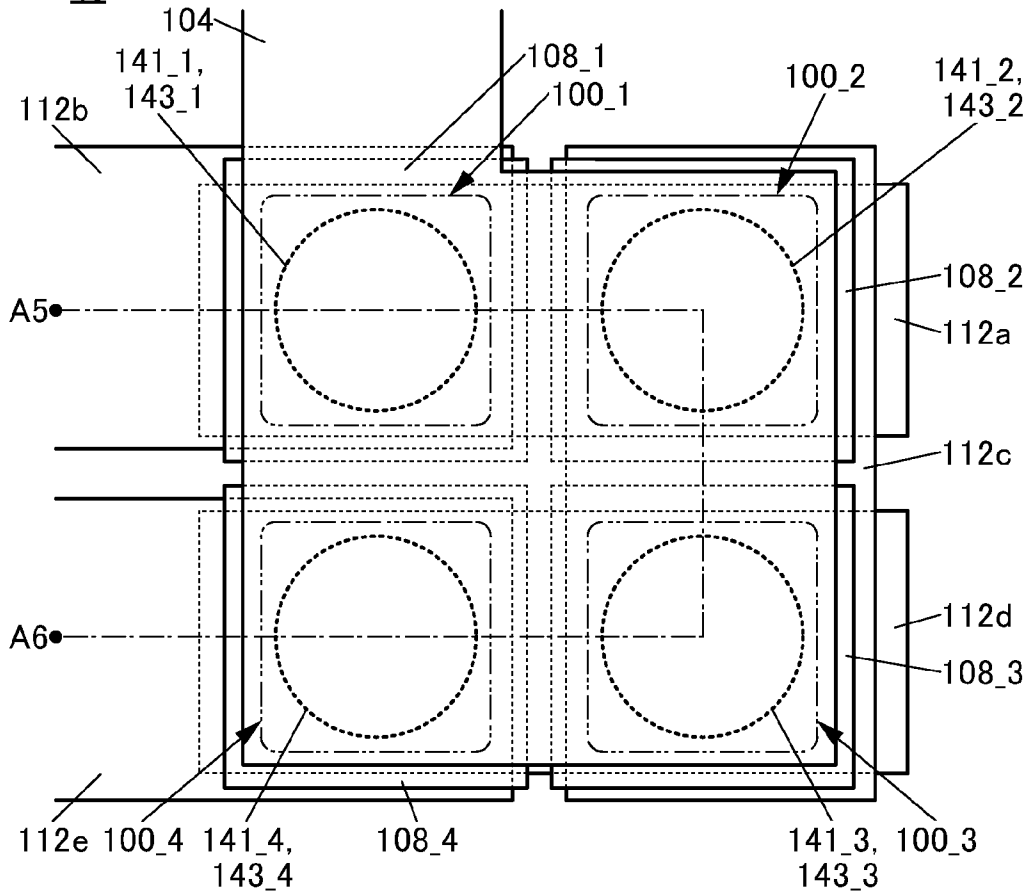
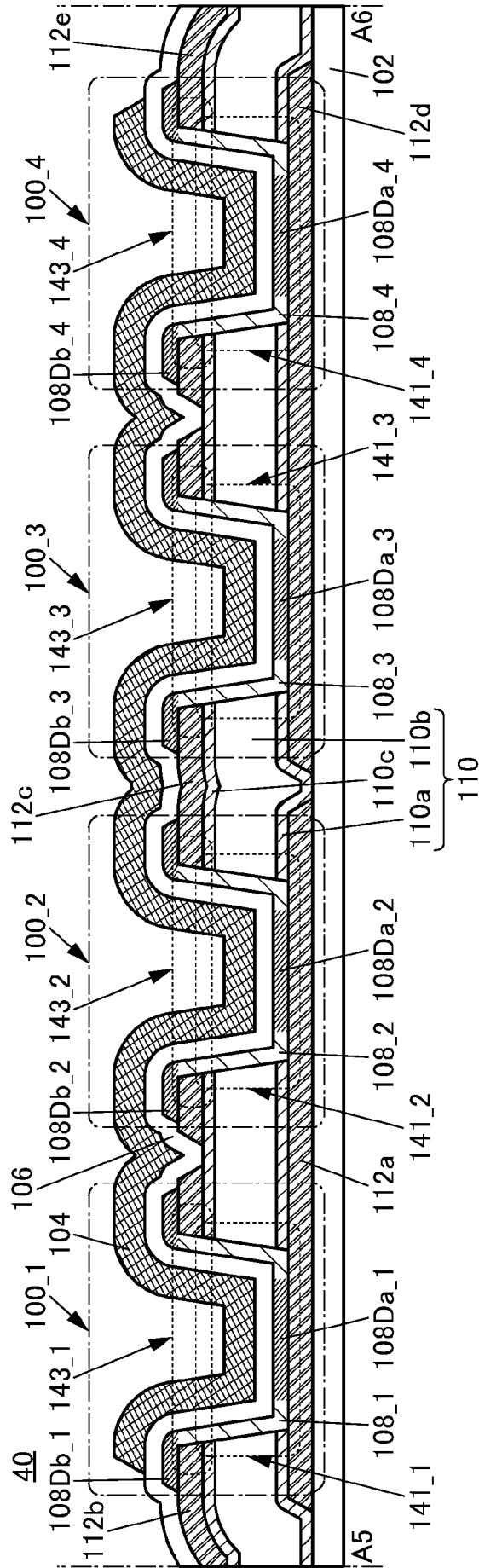
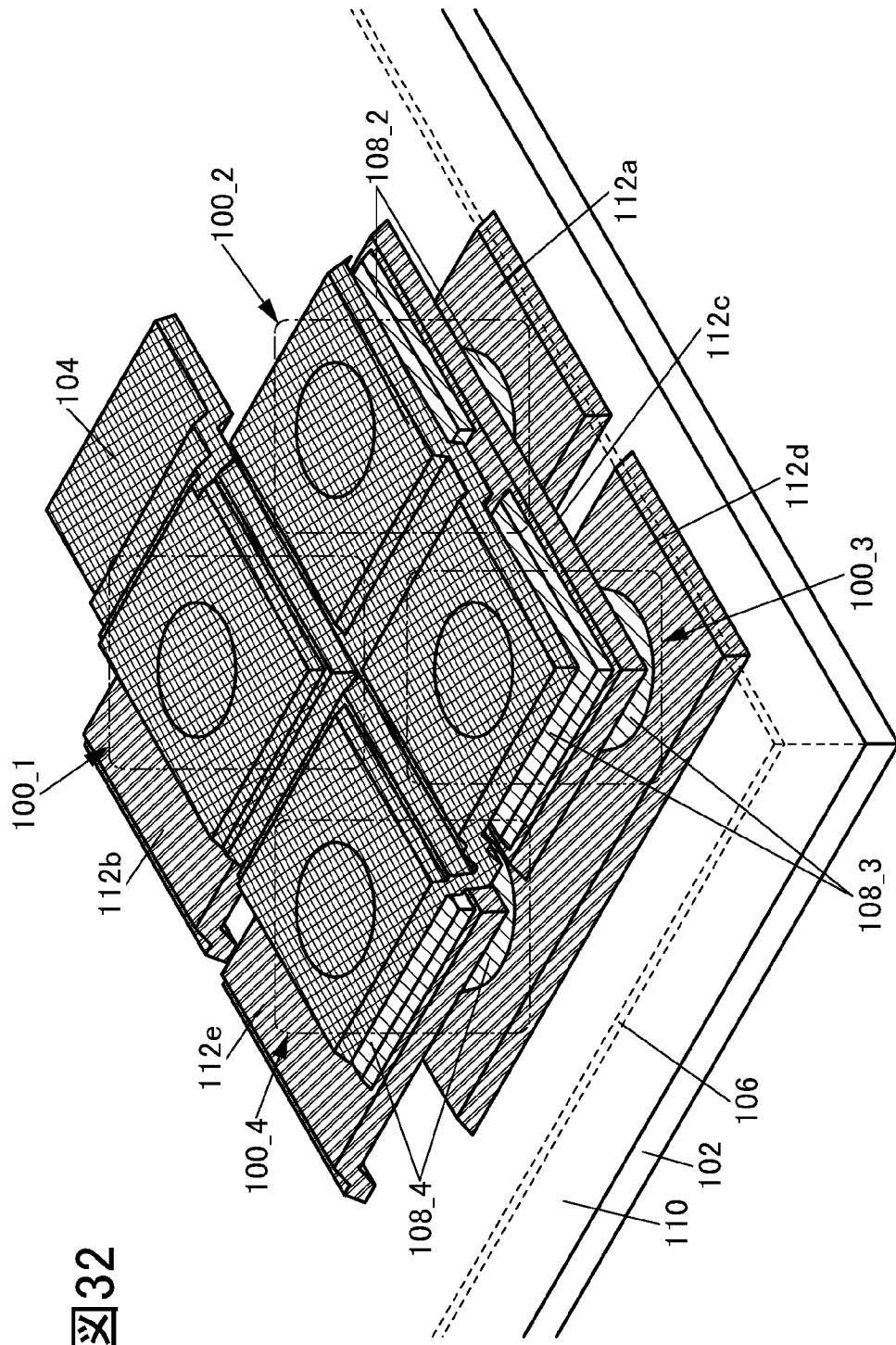
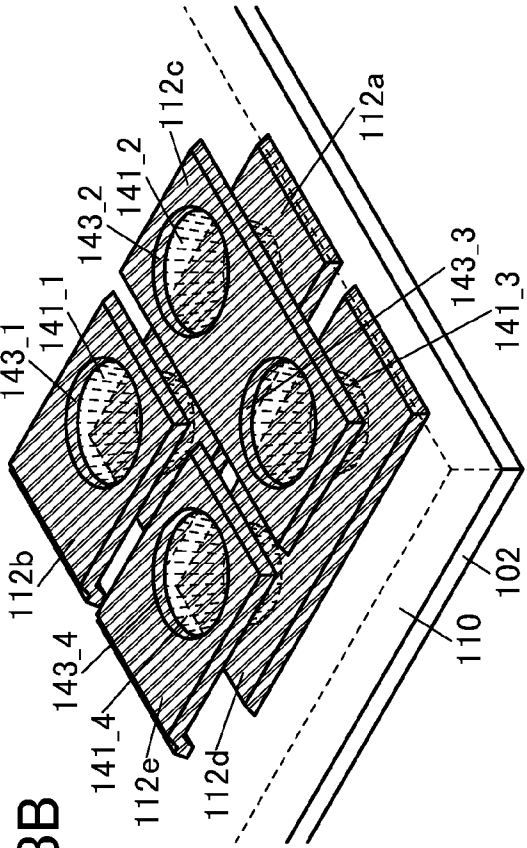


图 31

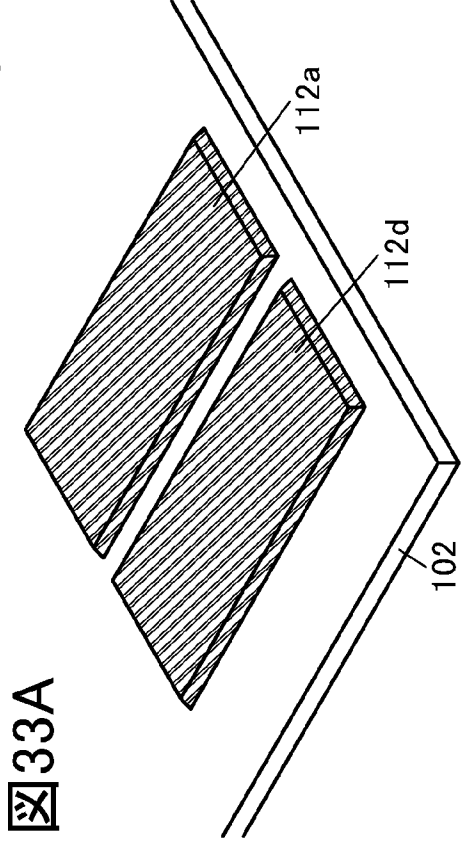




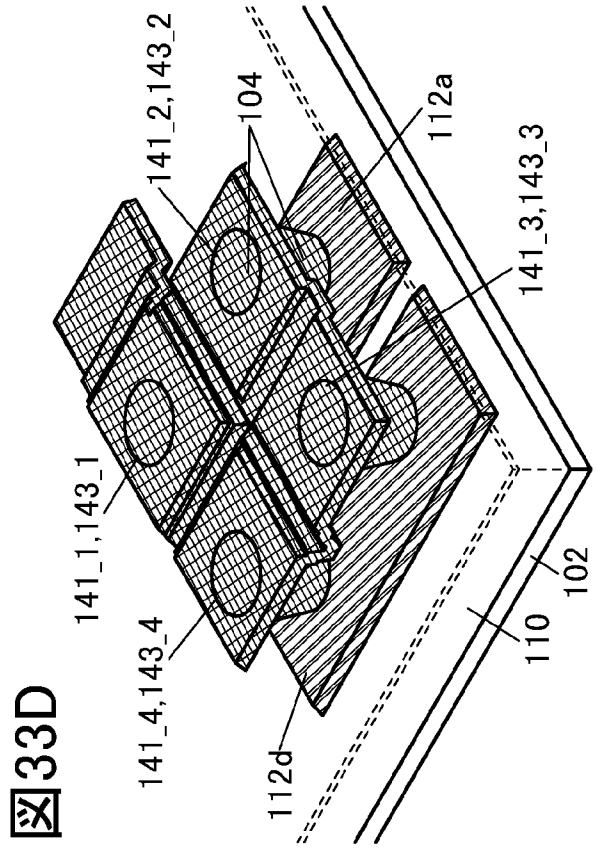
32



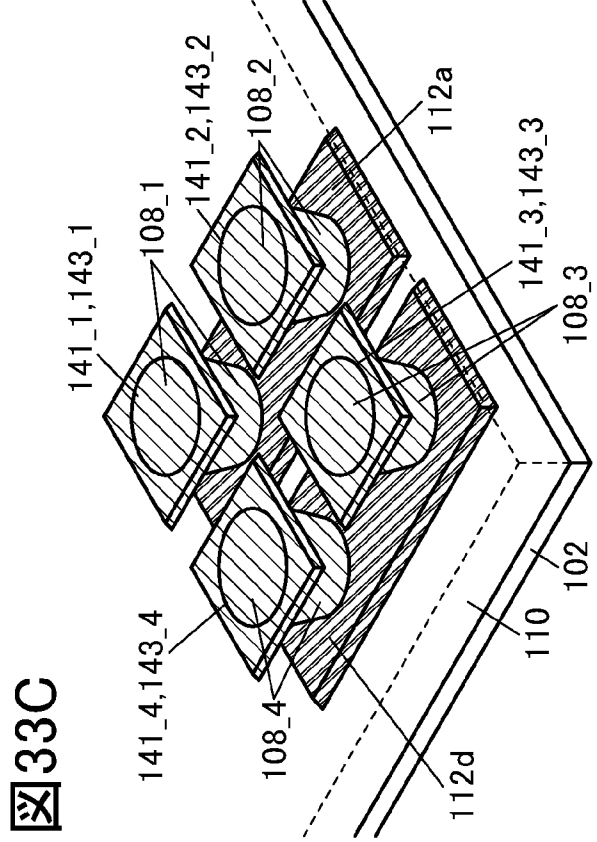
33B



33A



33D



33C

図34A

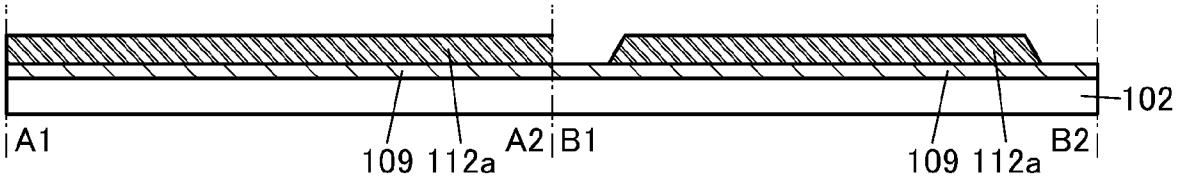


図34B

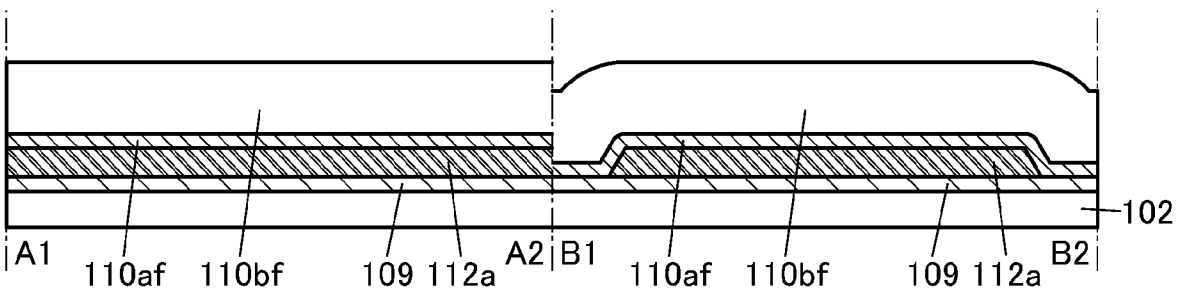


図34C

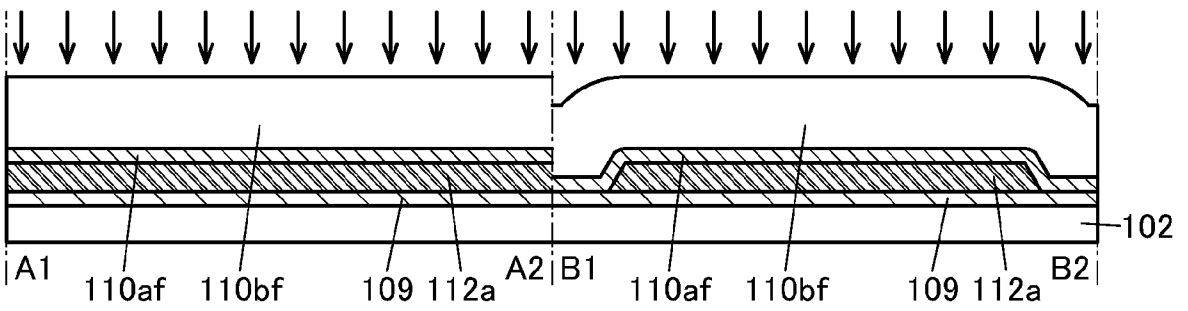


図34D

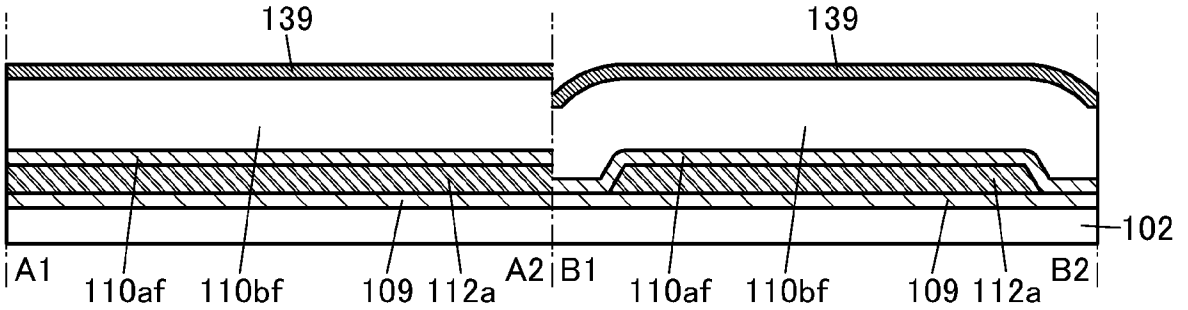
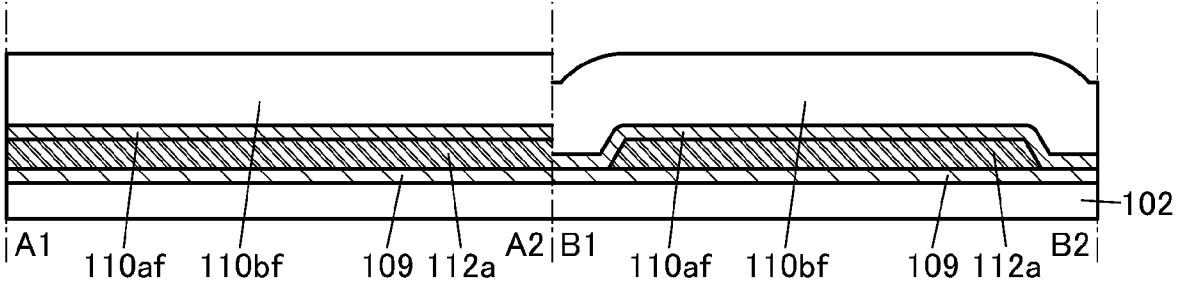
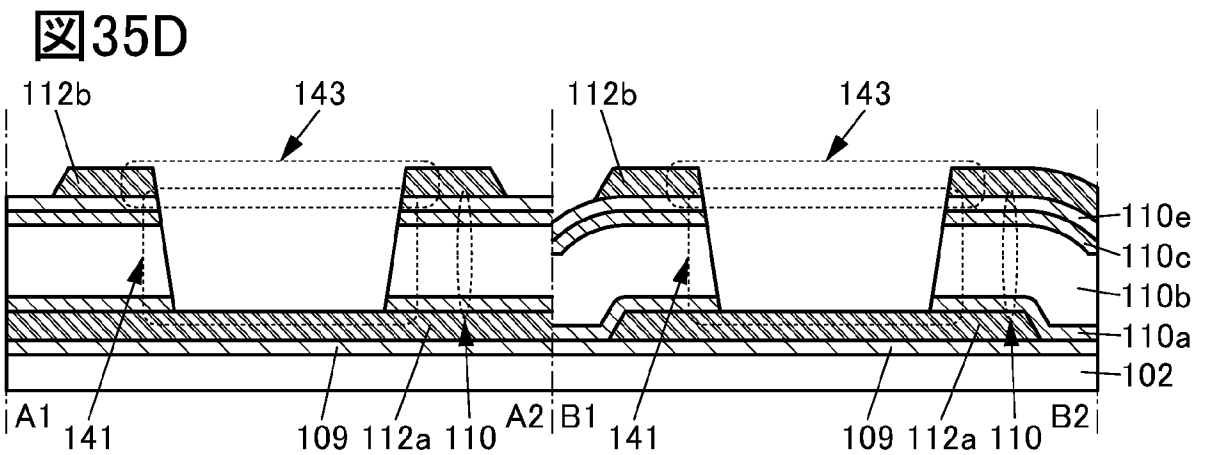
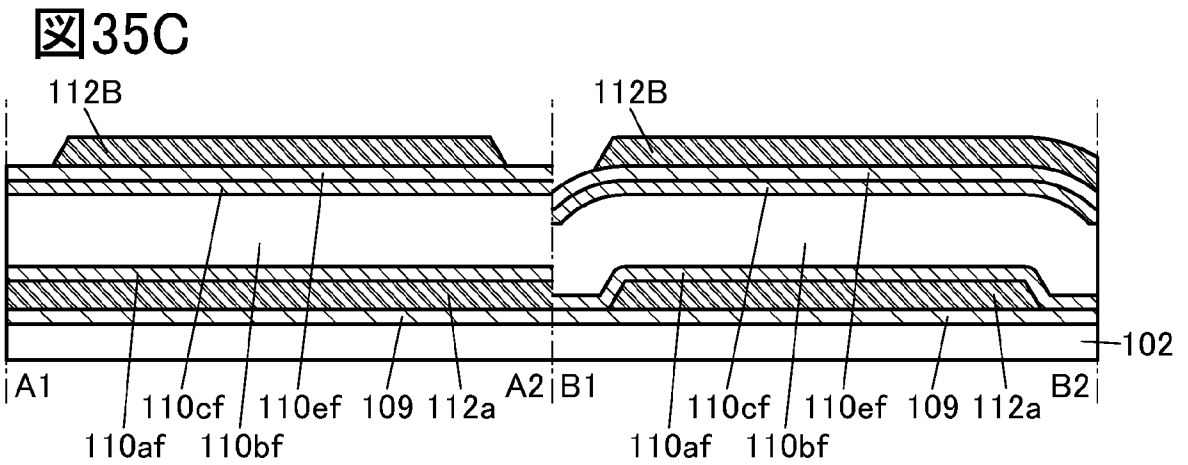
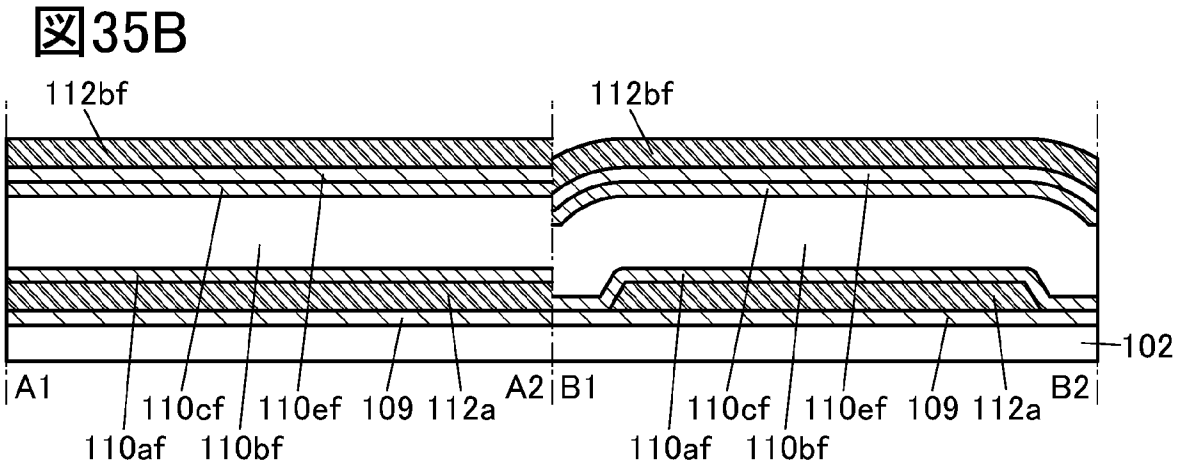
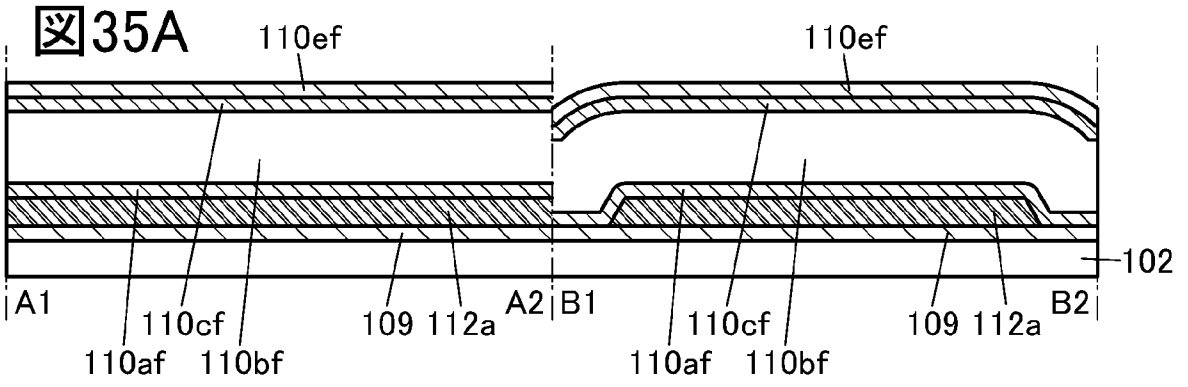
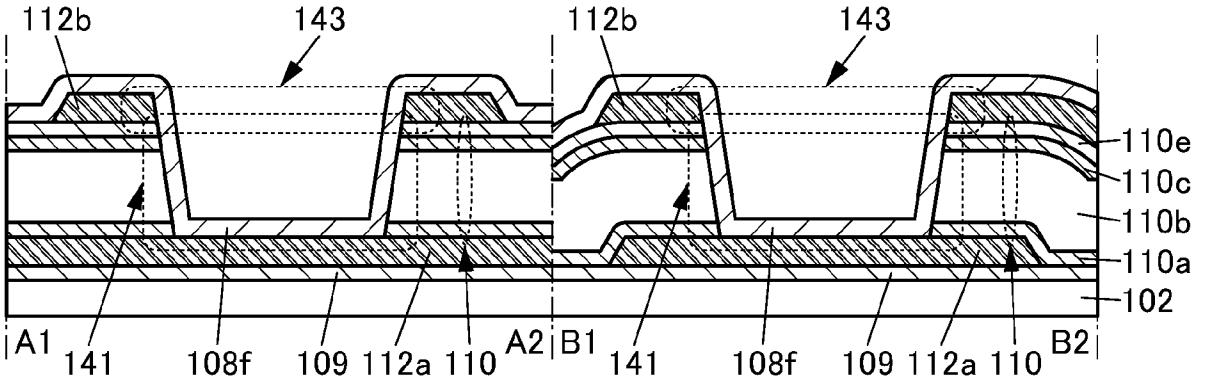


図34E

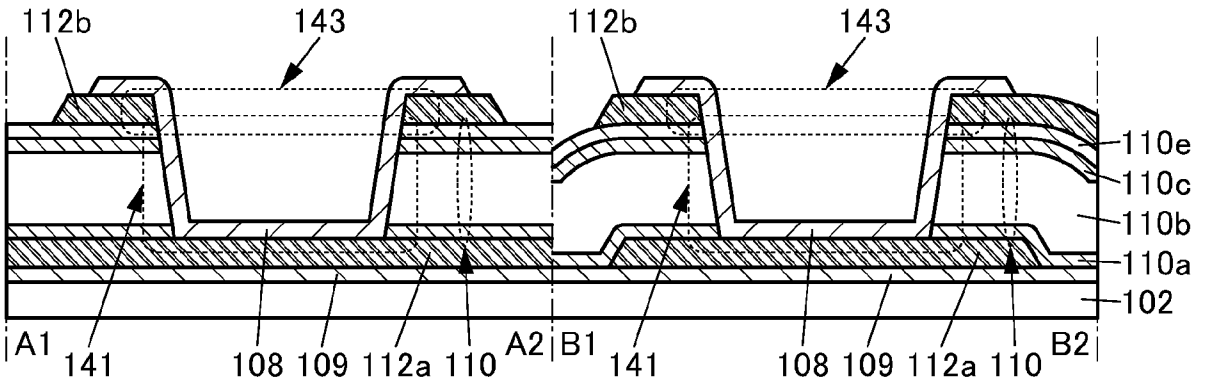




36A



36B



36C

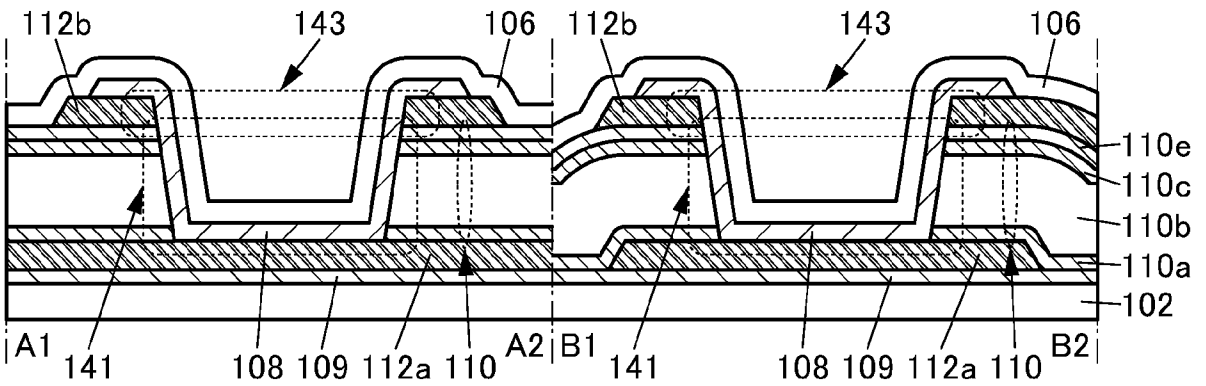
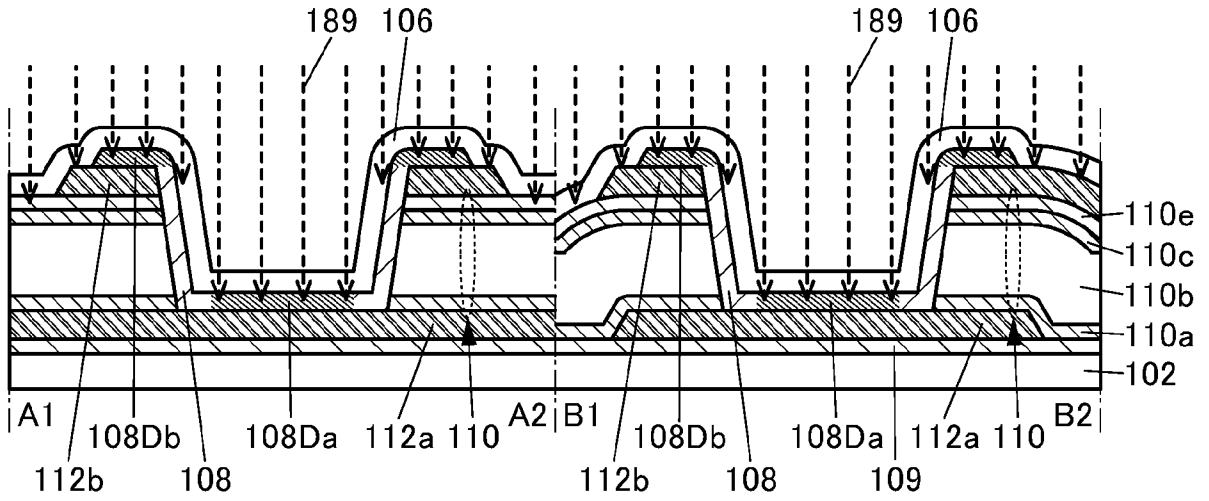
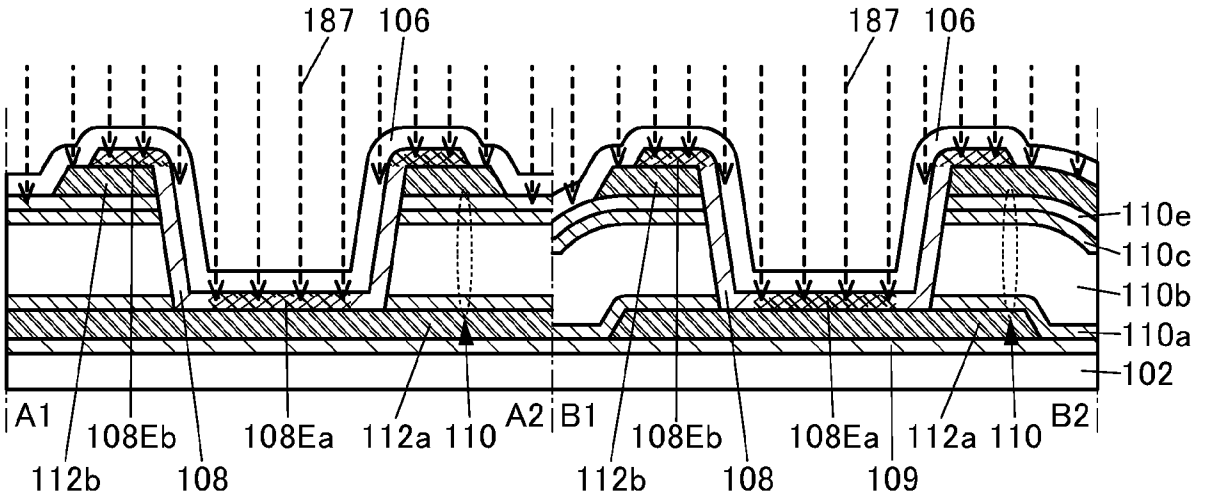


図37



38A



38B

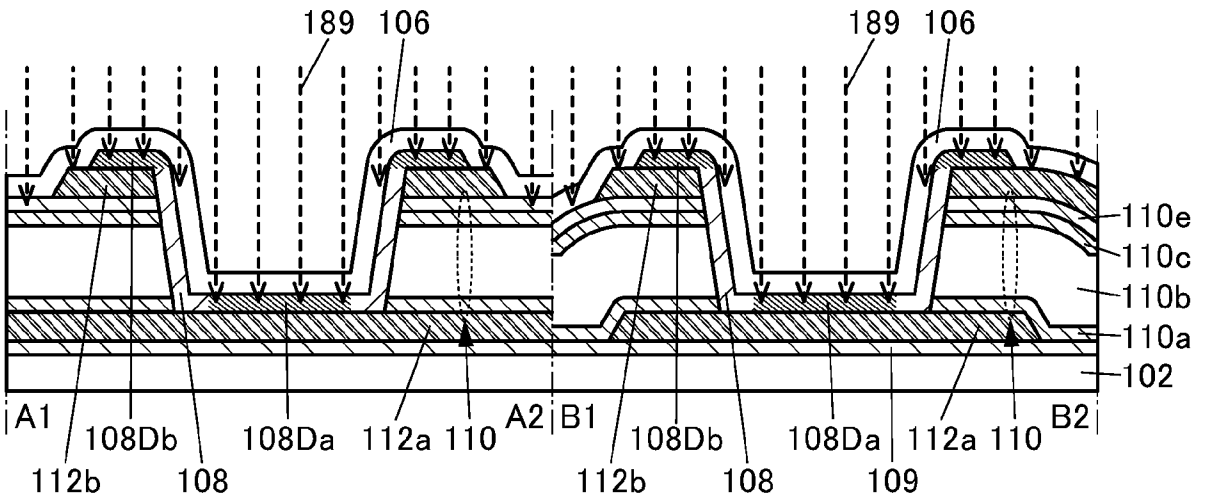


図39

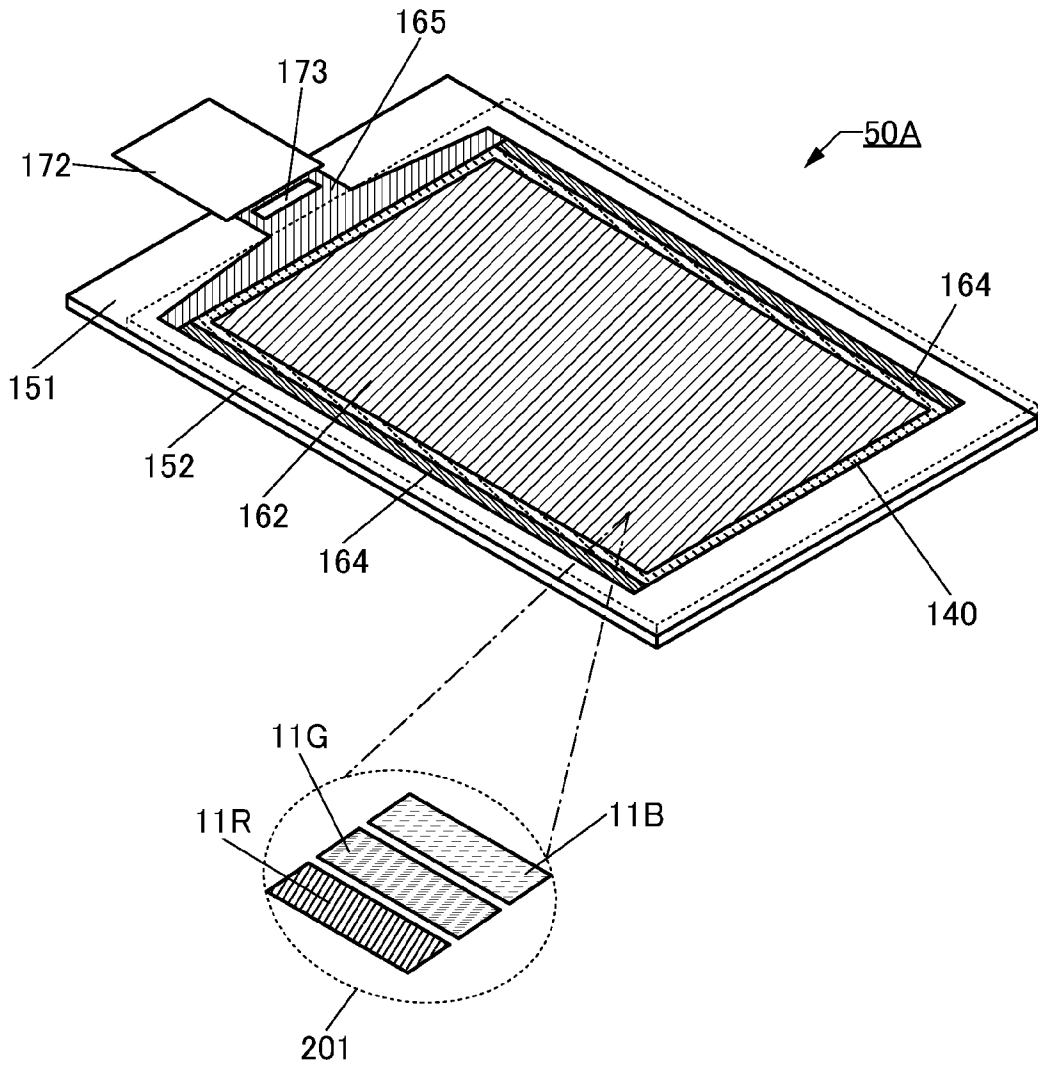
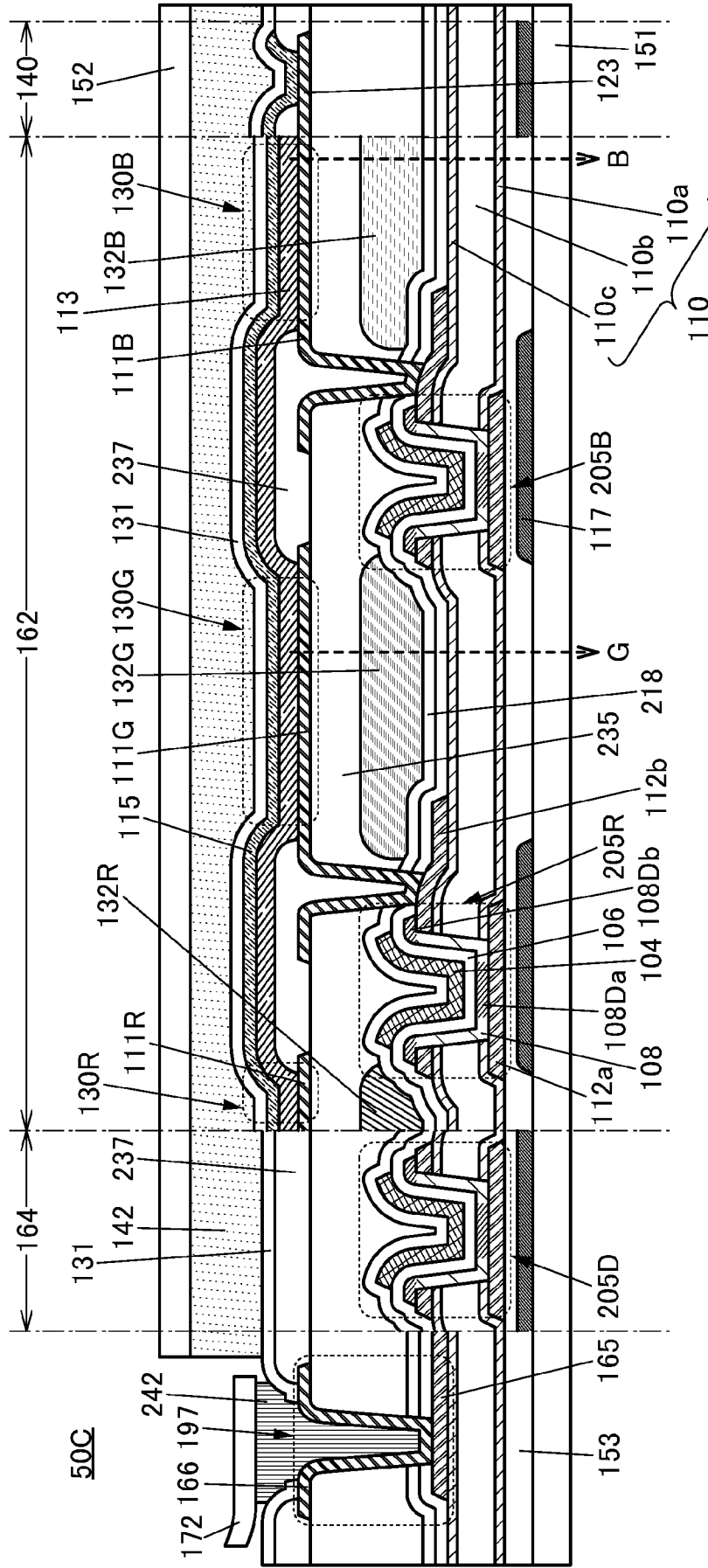
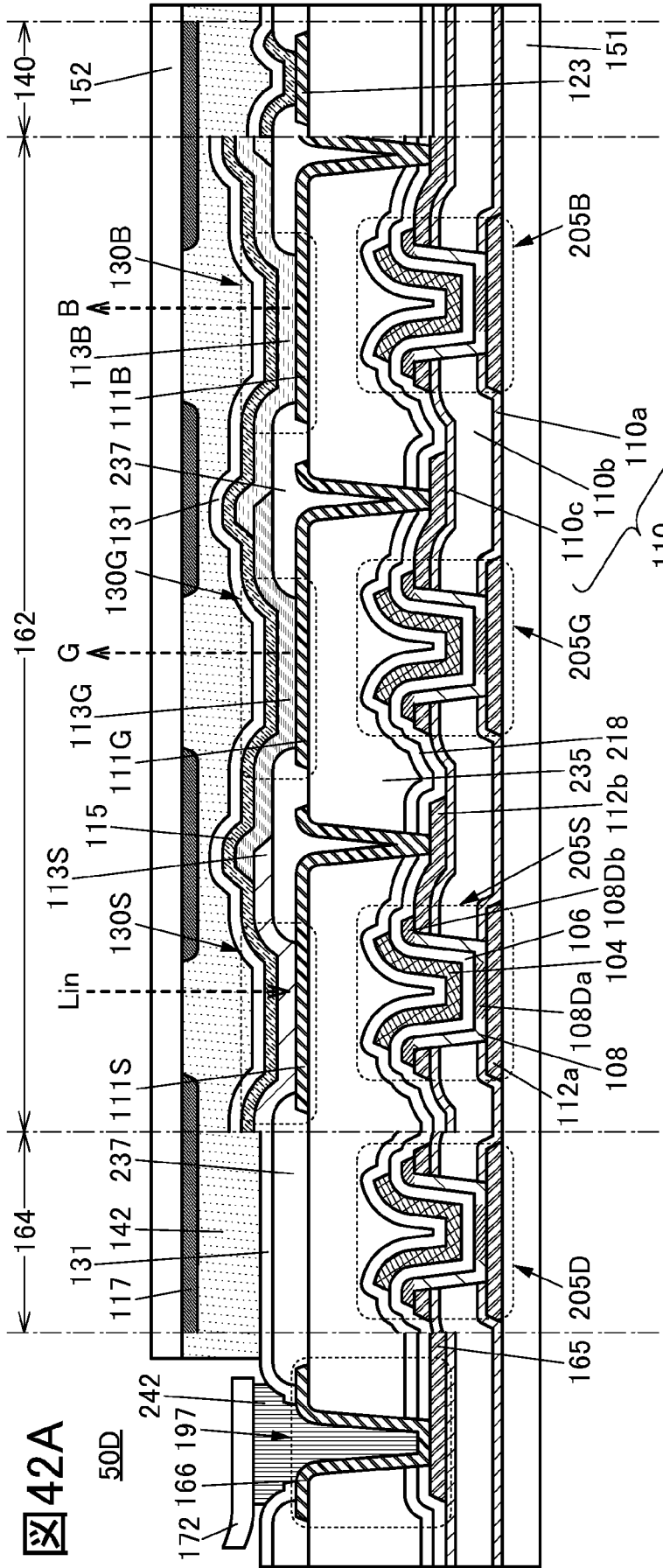


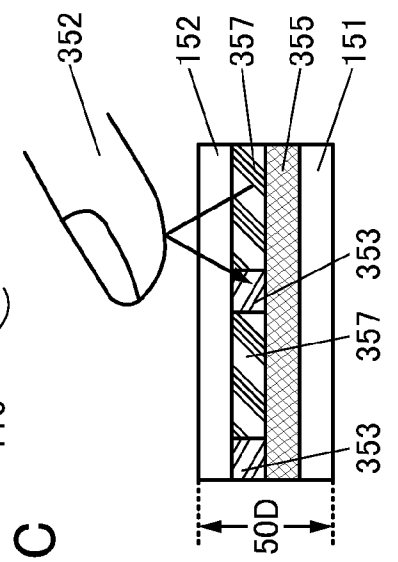


图 41

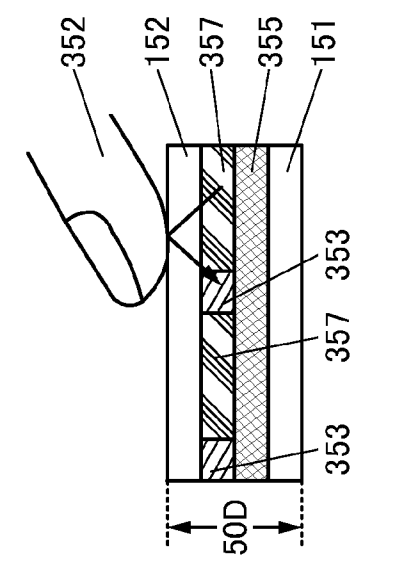




42A



42C



42B

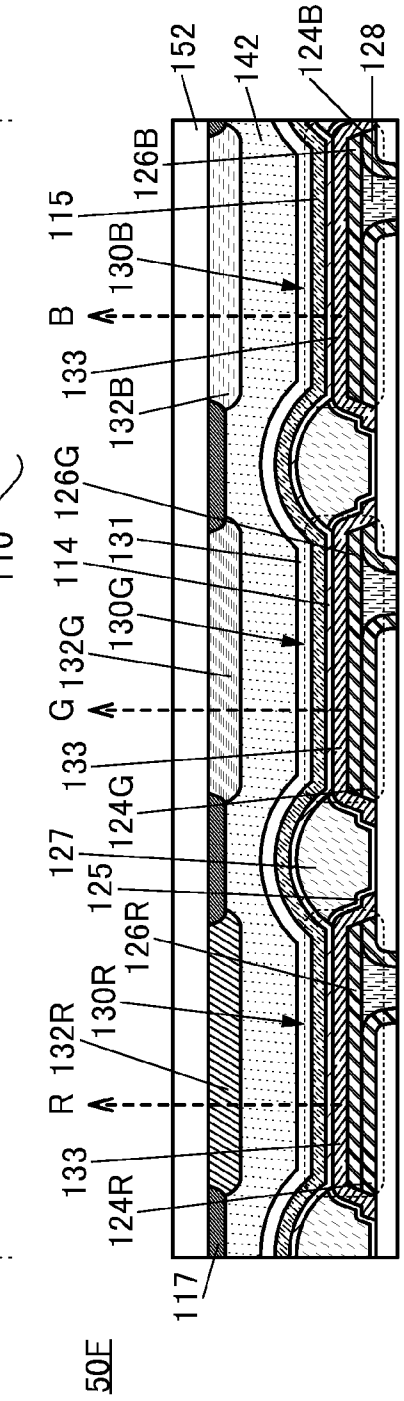
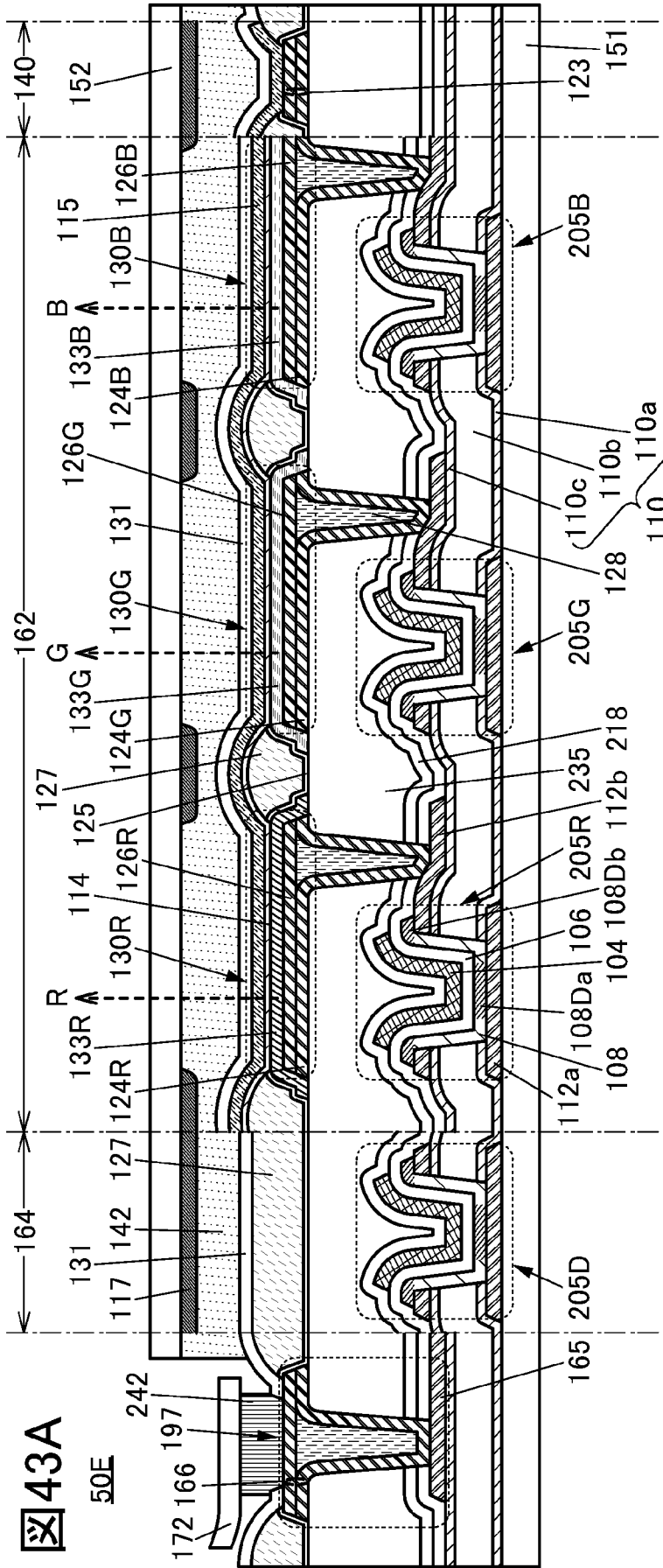


图 44

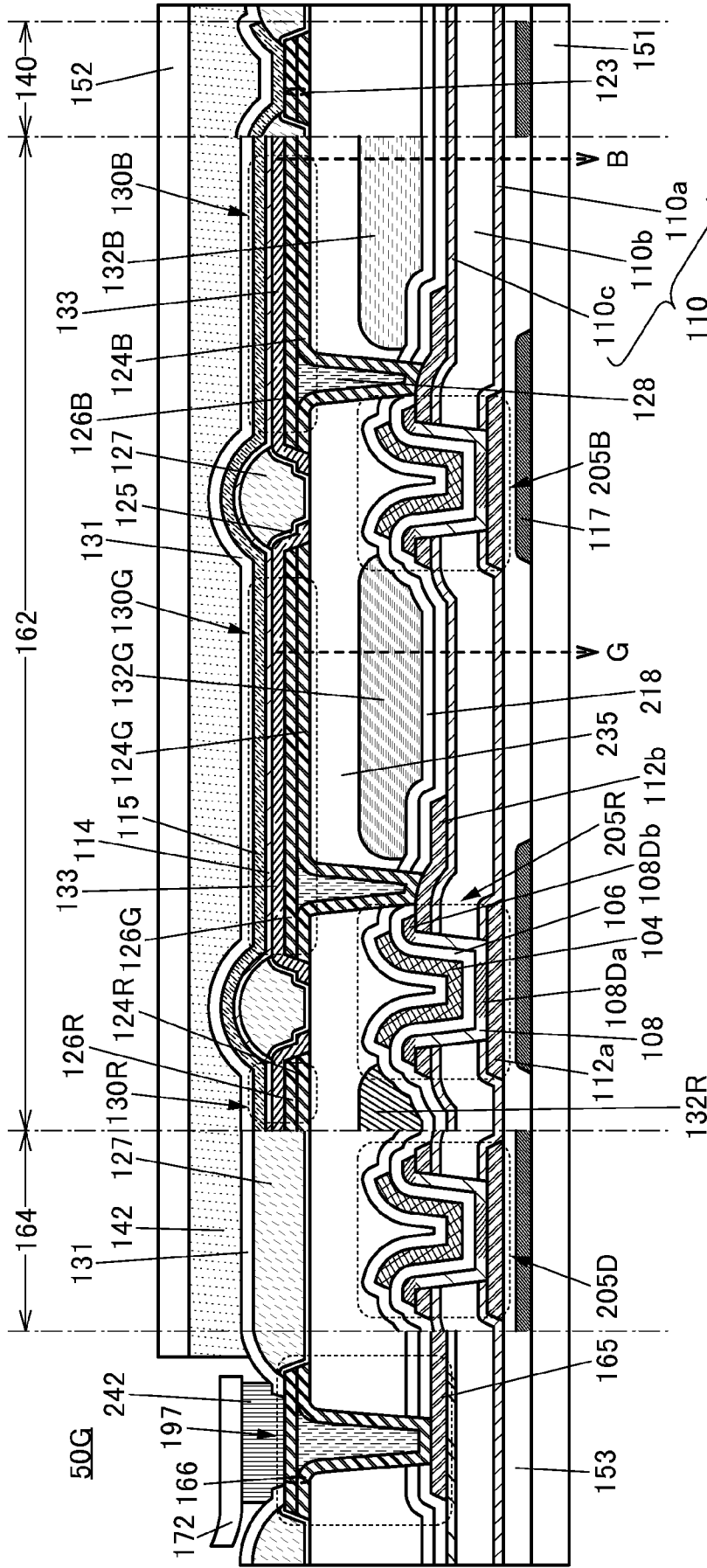


图45

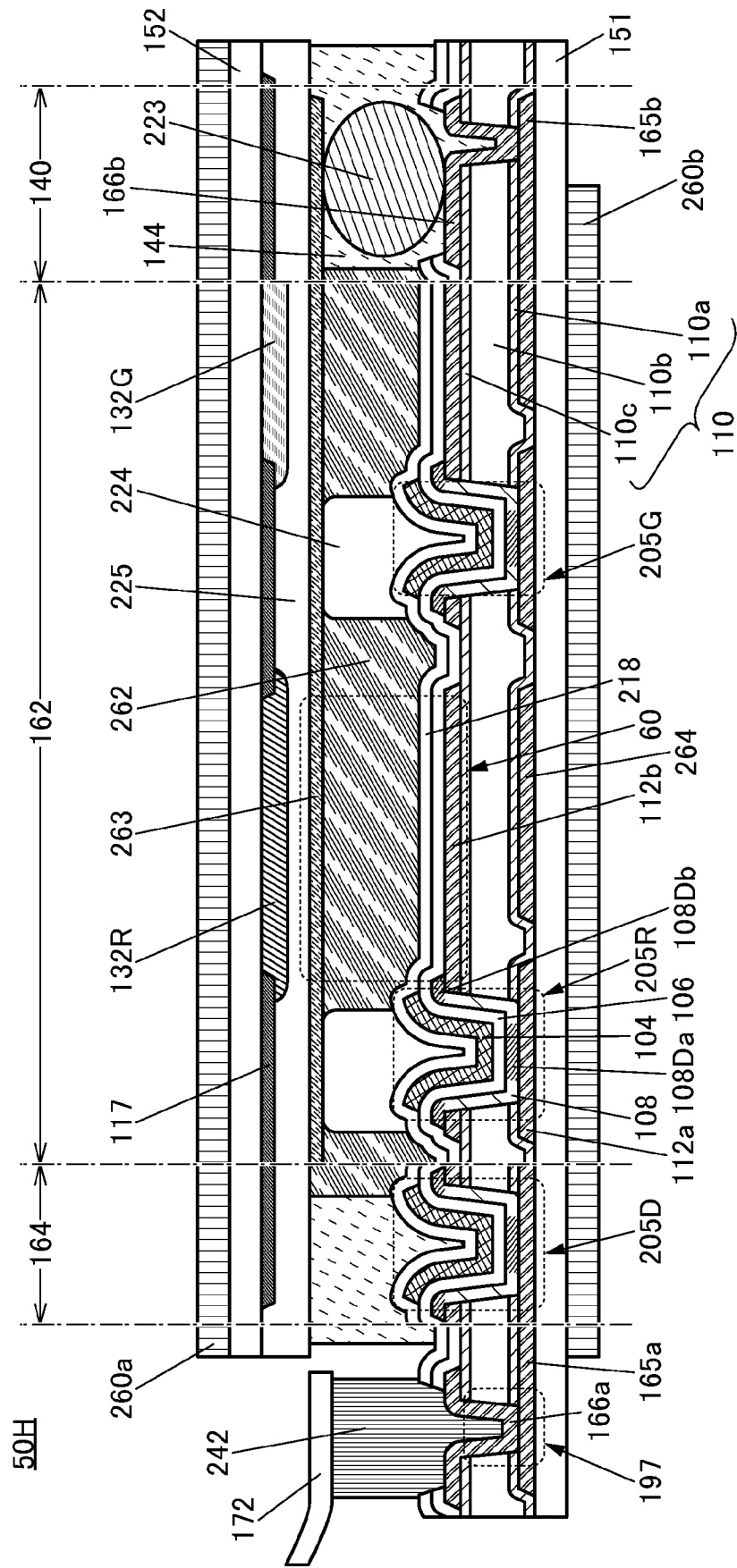




図47A

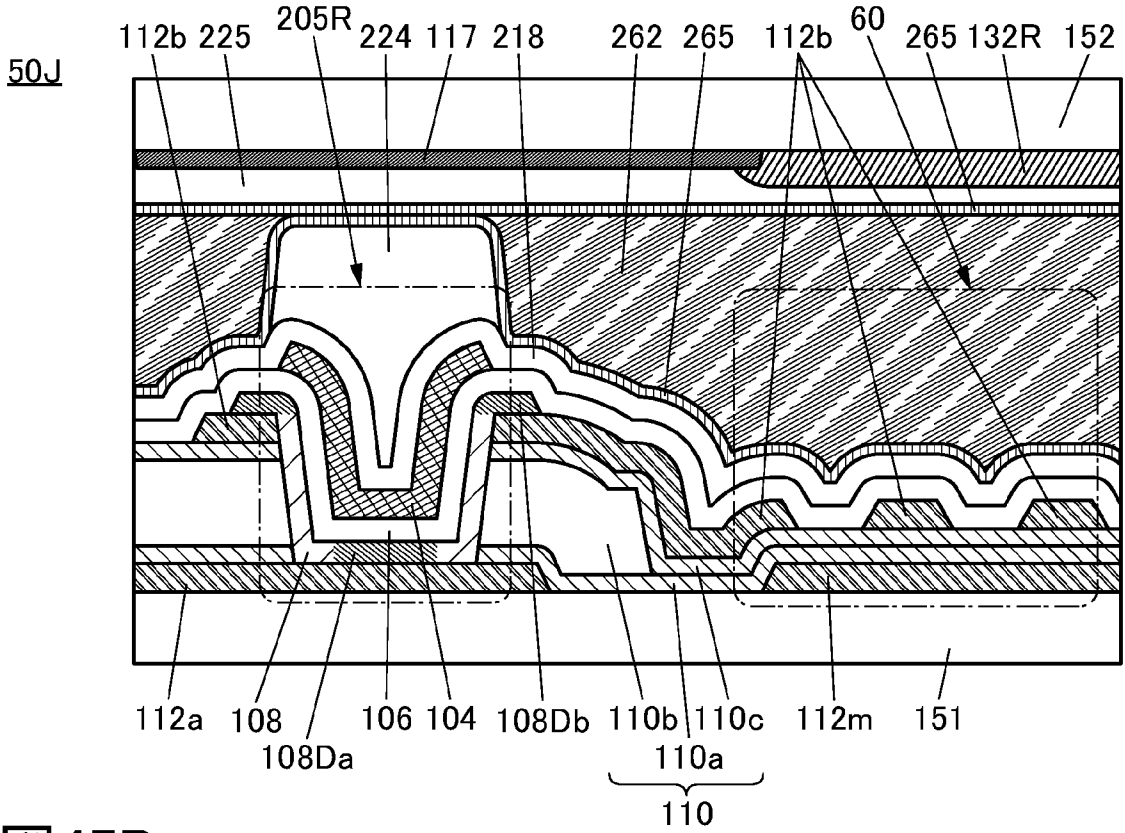


図47B

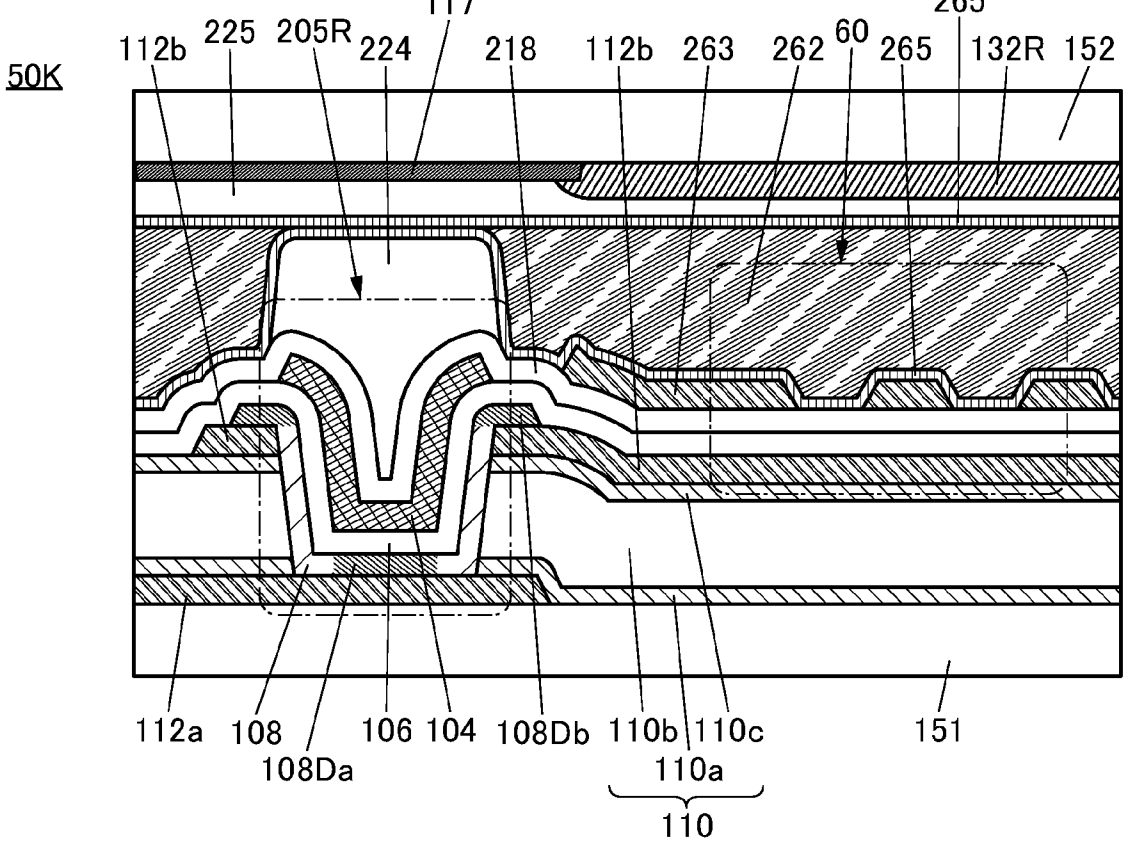


図48A

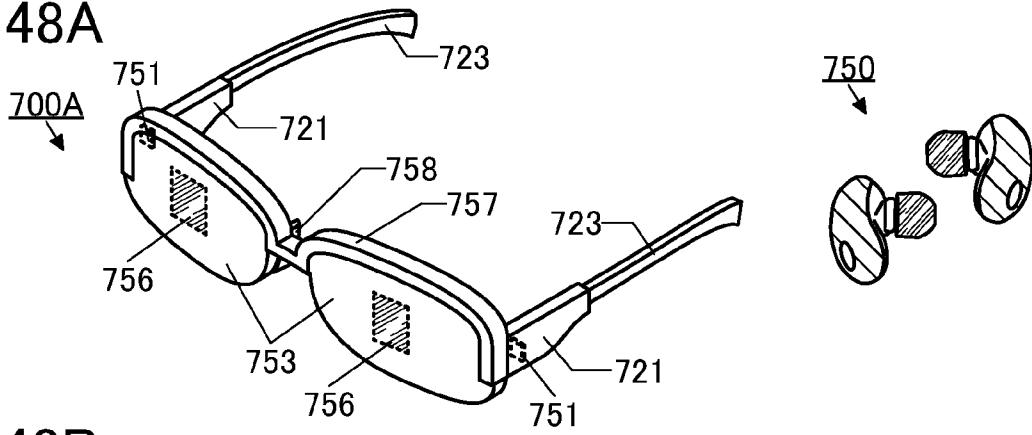


図48B

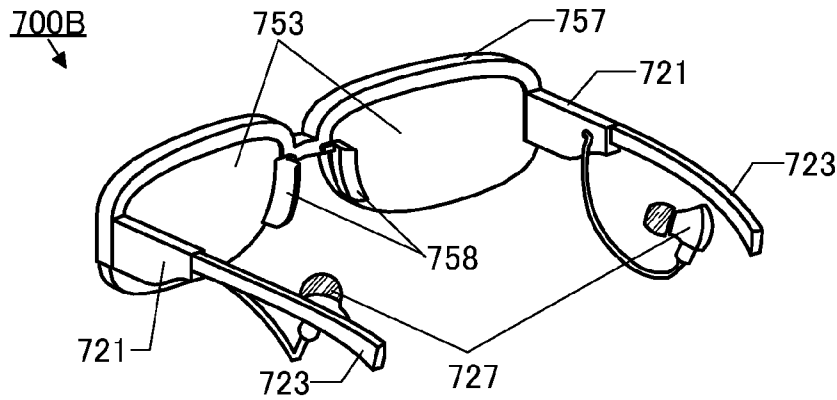


図48C

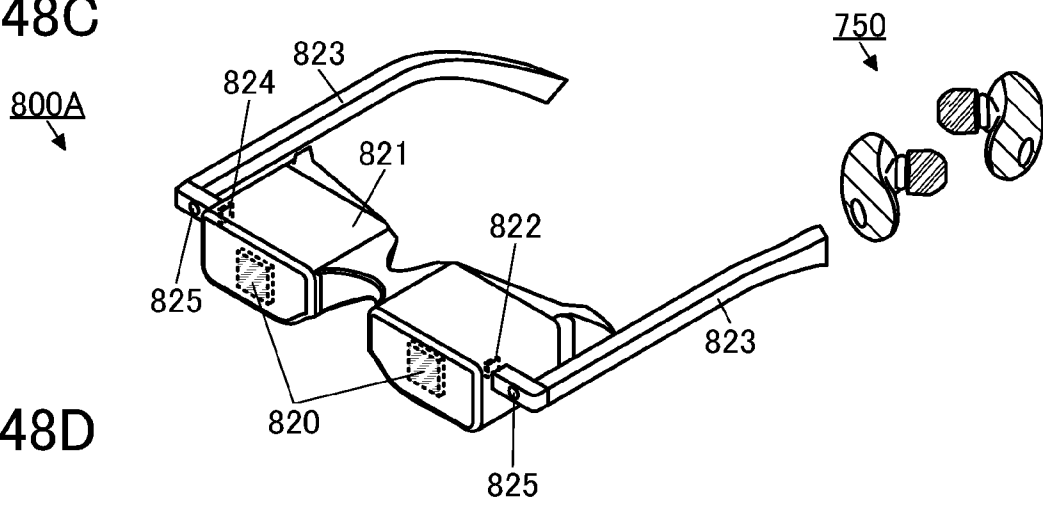


図48D

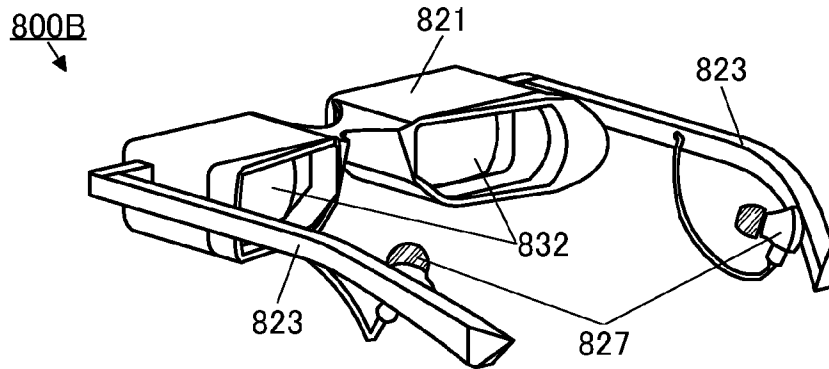


図49A

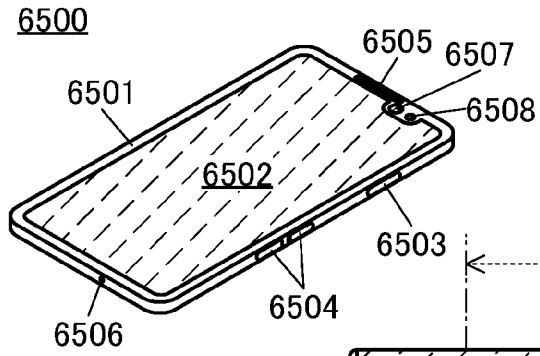


図49B

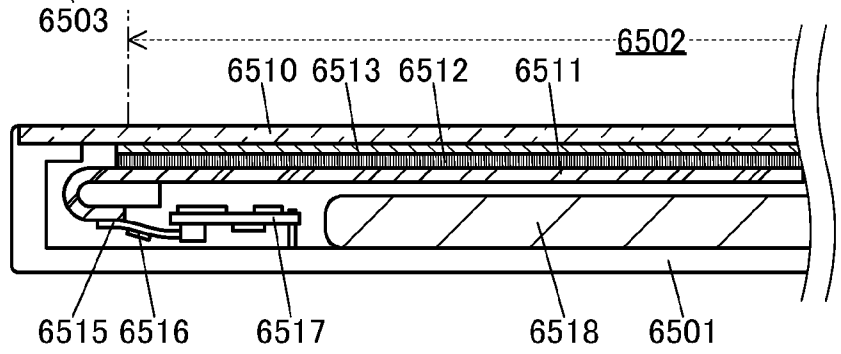


図49C

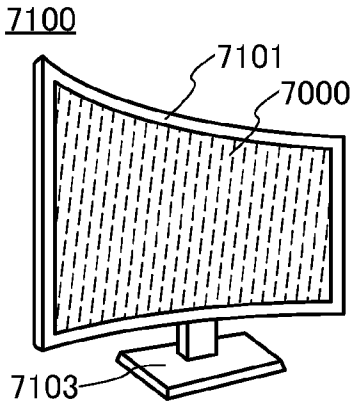


図49D

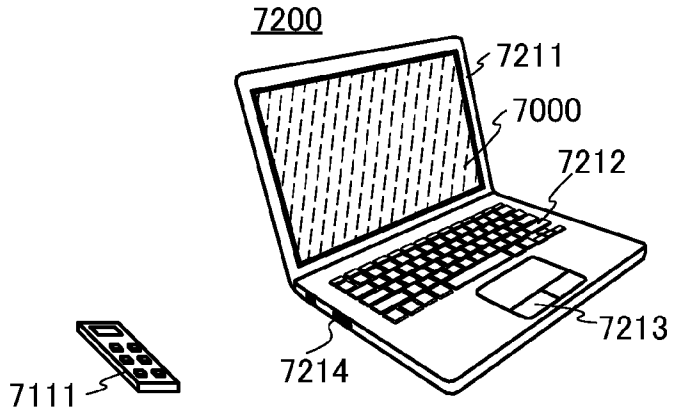


図49E

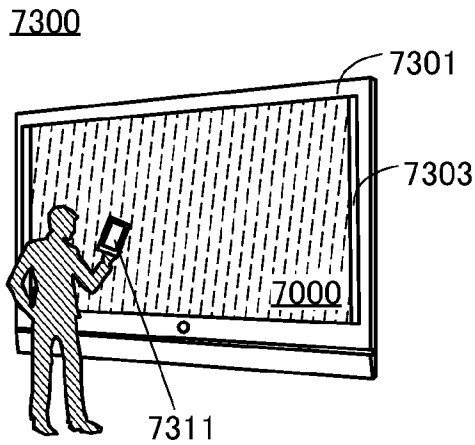


図49F

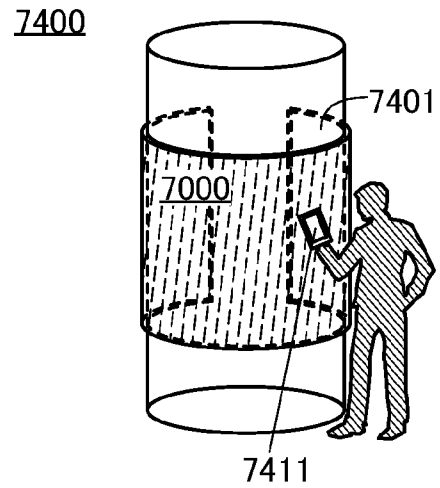


図50A

9101

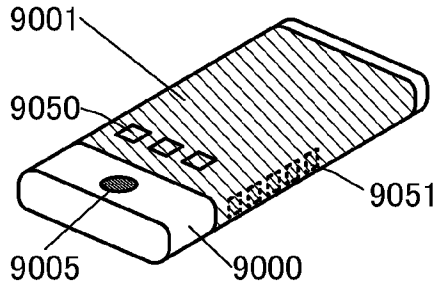


図50B

9102

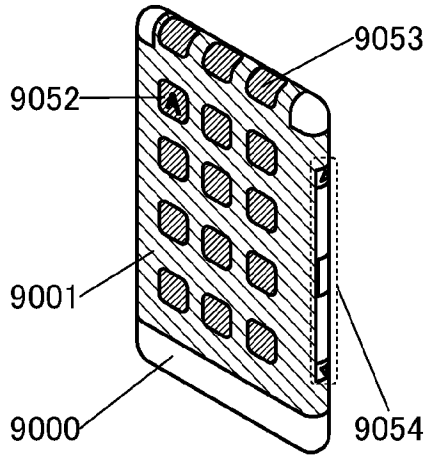


図50C

9103

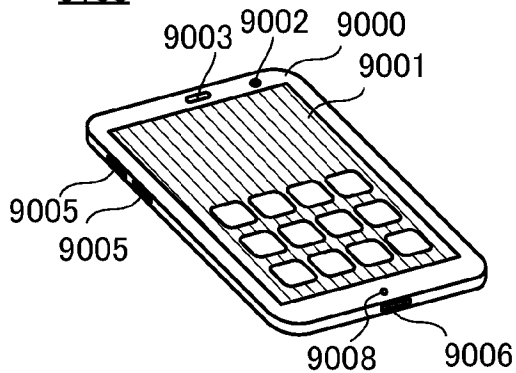


図50D

9200

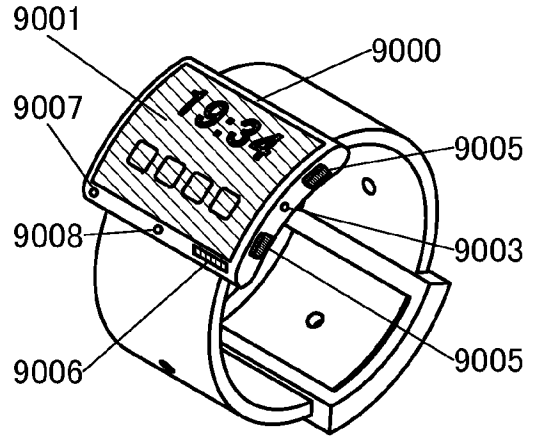


図50E

9201

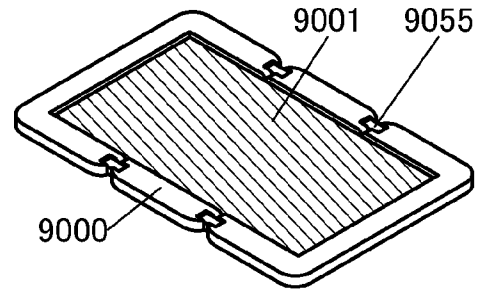


図50F

9201

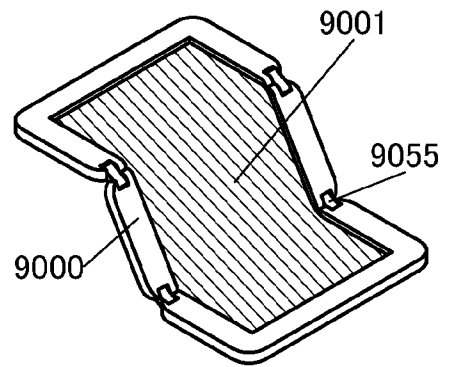
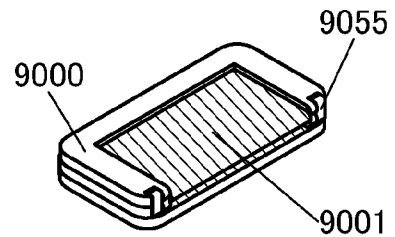


図50G

9201



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/IB2024/055638**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<b>H01L 29/786</b> (2006.01)i; <b>H01L 21/336</b> (2006.01)i; <b>H01L 21/8234</b> (2006.01)i; <b>H01L 27/088</b> (2006.01)i; <b>H10K 59/10</b> (2023.01)i FI: H01L29/78 626A; H01L29/78 618B; H01L29/78 616V; H01L29/78 617S; H01L29/78 619A; H01L29/78 616M; H01L27/088 E; H01L27/088 331E; H10K59/10		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L29/786; H01L21/336; H01L21/8234; H01L27/088; H10K59/10		
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 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2016-149552 A (SEMICONDUCTOR ENERGY LABORATORY CO., LTD.) 18 August 2016 (2016-08-18) paragraphs [0047]-[0308], fig. 1-26	1-9
A		10-11
Y	WO 2011/132351 A1 (SHARP KABUSHIKI KAISHA) 27 October 2011 (2011-10-27) paragraphs [0027]-[0093], fig. 1-8	1-9
A		10-11
Y	JP 2022-146789 A (WUHAN TIANMA MICRO-ELECTRICS CO., LTD.) 05 October 2022 (2022-10-05) paragraphs [0009]-[0101], fig. 1-13	1-9
A		10-11
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 "D" document cited by the applicant in the international application "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 <b>13 August 2024</b>		Date of mailing of the international search report <b>27 August 2024</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/IB2024/055638**

<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013-42117 A (SEMICONDUCTOR ENERGY LABORATORY CO., LTD.) 28 February 2013 (2013-02-28) entire text	1-11
A	JP 2017-168760 A (JAPAN DISPLAY INC.) 21 September 2017 (2017-09-21) entire text	1-11
A	JP 2012-174836 A (FUJITSU LIMITED) 10 September 2012 (2012-09-10) entire text	1-11

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/IB2024/055638**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2016-149552	A	18 August 2016	US 2016/0233343 A1 paragraphs [0072]-[0331], fig. 1-26	
				TW 201640683 A	
WO	2011/132351	A1	27 October 2011	US 2013/0037800 A1 paragraphs [0046]-[0124], fig. 1-18	
				CN 102859702 A	
				KR 10-2013-0010125 A	
JP	2022-146789	A	05 October 2022	US 2022/0302313 A1 paragraphs [0029]-[0121], fig. 1-13	
				CN 114695387 A	
JP	2013-42117	A	28 February 2013	US 2013/0015436 A1	
				KR 10-2013-0009640 A	
JP	2017-168760	A	21 September 2017	US 2017/0271375 A1	
				CN 107204362 A	
JP	2012-174836	A	10 September 2012	(Family: none)	

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））</p> <p>H01L 29/786(2006.01)i; H01L 21/336(2006.01)i; H01L 21/8234(2006.01)i; H01L 27/088(2006.01)i;                  H10K 59/10(2023.01)i                  FI: H01L29/78 626A; H01L29/78 618B; H01L29/78 616V; H01L29/78 617S; H01L29/78 619A; H01L29/78 616M;                  H01L27/088 E; H01L27/088 331E; H10K59/10</p>																	
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））                  H01L29/786; H01L21/336; H01L21/8234; H01L27/088; H10K59/10</p> <p>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</p> <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 - 2024年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2024年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2024年</td> </tr> </table> <p>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）</p>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2024年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2024年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2024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 - 2024年																
日本国実用新案登録公報	1996 - 2024年																
日本国登録実用新案公報	1994 - 2024年																
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <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 A</td> <td>JP 2016-149552 A（株式会社半導体エネルギー研究所）18.08.2016（2016-08-18） [0047]-[0308], [図1]-[図26]</td> <td>1-9 10-11</td> </tr> <tr> <td>Y A</td> <td>WO 2011/132351 A1（シャープ株式会社）27.10.2011（2011-10-27） [0027]-[0093], [図1]-[図8]</td> <td>1-9 10-11</td> </tr> <tr> <td>Y A</td> <td>JP 2022-146789 A（武漢天馬微電子有限公司）05.10.2022（2022-10-05） [0009]-[0101], [図1]-[図13]</td> <td>1-9 10-11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2013-42117 A（株式会社半導体エネルギー研究所）28.02.2013（2013-02-28） 全文</td> <td>1-11</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 A	JP 2016-149552 A（株式会社半導体エネルギー研究所）18.08.2016（2016-08-18） [0047]-[0308], [図1]-[図26]	1-9 10-11	Y A	WO 2011/132351 A1（シャープ株式会社）27.10.2011（2011-10-27） [0027]-[0093], [図1]-[図8]	1-9 10-11	Y A	JP 2022-146789 A（武漢天馬微電子有限公司）05.10.2022（2022-10-05） [0009]-[0101], [図1]-[図13]	1-9 10-11	A	JP 2013-42117 A（株式会社半導体エネルギー研究所）28.02.2013（2013-02-28） 全文	1-11
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 A	JP 2016-149552 A（株式会社半導体エネルギー研究所）18.08.2016（2016-08-18） [0047]-[0308], [図1]-[図26]	1-9 10-11															
Y A	WO 2011/132351 A1（シャープ株式会社）27.10.2011（2011-10-27） [0027]-[0093], [図1]-[図8]	1-9 10-11															
Y A	JP 2022-146789 A（武漢天馬微電子有限公司）05.10.2022（2022-10-05） [0009]-[0101], [図1]-[図13]	1-9 10-11															
A	JP 2013-42117 A（株式会社半導体エネルギー研究所）28.02.2013（2013-02-28） 全文	1-11															
<p><input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>																	
<p>* 引用文献のカテゴリー</p> <p>“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</p> <p>“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献</p> <p>“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</p> <p>“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）</p> <p>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&amp;” 同一パテントファミリー文献</p>																	
<p>国際調査を完了した日</p> <p>13.08.2024</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>27.08.2024</p>																
<p>名称及びあて先</p> <p>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</p>	<p>権限のある職員（特許庁審査官）</p> <p>河合 俊英 5F 3238</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3514</p>																

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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 2017-168760 A (株式会社ジャパンディスプレイ) 21.09.2017 (2017 - 09 - 21) 全文	1-11
A	JP 2012-174836 A (富士通株式会社) 10.09.2012 (2012 - 09 - 10) 全文	1-11

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/IB2024/055638

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2016-149552 A	18.08.2016	US 2016/0233343 A1 [0072]-[0331], FIG. 1- FIG. 26 TW 201640683 A	
WO 2011/132351 A1	27.10.2011	US 2013/0037800 A1 [0046]-[0124], FIG. 1- FIG. 18 CN 102859702 A KR 10-2013-0010125 A	
JP 2022-146789 A	05.10.2022	US 2022/0302313 A1 [0029]-[0121], FIG. 1- FIG. 13 CN 114695387 A	
JP 2013-42117 A	28.02.2013	US 2013/0015436 A1 KR 10-2013-0009640 A	
JP 2017-168760 A	21.09.2017	US 2017/0271375 A1 CN 107204362 A	
JP 2012-174836 A	10.09.2012	(ファミリーなし)	