(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
2020年8月27日(27.08.2020)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2020/170065 A1

(51) 国際特許分類:
C23C 14/08 (2006.01) *H01L 21/20* (2006.01)
C01G 15/00 (2006.01) *H01L 21/203* (2006.01)
C01G 19/00 (2006.01) *H01L 21/336* (2006.01)
G01N 23/20058 (2018.01) *H01L 27/32* (2006.01)
G01N 23/2055 (2018.01) *H01L 29/786* (2006.01)
G02F 1/1343 (2006.01) *H01L 51/50* (2006.01)
G02F 1/1368 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/IB2020/050999

(22) 国際出願日： 2020年2月10日(10.02.2020)

(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 2019-030643 2019年2月22日(22.02.2019) JP
特願 2019-042866 2019年3月8日(08.03.2019) JP
特願 2019-076585 2019年4月12日(12.04.2019) JP

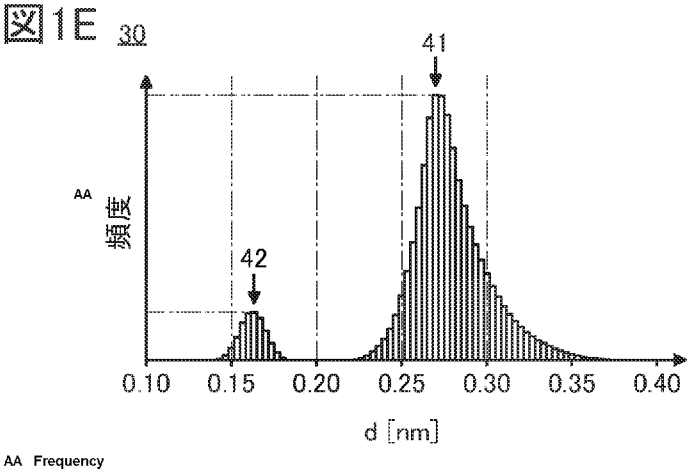
(71) 出願人: 株式会社半導体エネルギー研究所 (SEMICONDUCTOR ENERGY LABORATORY CO., LTD.) [JP/JP]; 〒2430036 神奈川県厚木市長谷３９８ Kanagawa (JP).

(72) 発明者: 生内俊光 (OBONAI, Toshimitsu). 保坂泰靖 (HOSAKA, Yasuharu). 岡崎健一 (OKAZAKI, Kenichi); 〒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). 高橋正弘 (TAKAHASHI, Masahiro); 〒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). 中山智則 (NAKAYAMA, Tomonori); 〒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). 金川朋賢 (KANAGAWA, Tomosato); 〒2430036 神奈川県厚木市長谷３９８株式会社半導体エネルギー研究所内 Kanagawa (JP). 山崎舜平 (YAMAZAKI, Shunpei); 〒2430036 神奈川県厚

(54) **Title:** METAL OXIDE FILM, SEMICONDUCTOR DEVICE, AND METHOD FOR EVALUATING METAL OXIDE FILM

(54) 発明の名称： 金属酸化物膜、半導体装置、及び金属酸化物膜の評価方法

図1E



(57) **Abstract:** Provided is a metal oxide film having high electrical properties. Provided is a metal oxide film having high reliability. The metal oxide film contains indium, M (wherein M is aluminum, gallium, yttrium, or tin), and zinc. The distribution of the interplanar spacing d of the metal oxide film, as determined via electron beam diffraction performed via bombardment of an electron beam from a direction orthogonal to the surface of the metal oxide film, comprises a first peak and a second peak. The apex of the first peak is positioned between 0.25 nm and 0.30 nm, inclusive, and the apex of the second peak is positioned between 0.15 nm and 0.20 nm, inclusive. The distribution of the interplanar spacing d is obtained from a plurality of electron beam diffraction patterns in a plurality of regions of the metal oxide film. The electron beam diffraction is performed using an electron beam having a beam diameter between 0.3 nm and 10 nm, inclusive.

WO 2020/170065 A1

［続葉有］

木市長谷３９８株式会社半導体エネルギー研究所内 Kanagawa (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：電気特性の高い金属酸化物膜を提供する。信頼性の高い金属酸化物膜を提供する。 金属酸化物膜は、インジウム、Ｍ（Ｍはアルミニウム、ガリウム、イットリウム、またはスズ）、 及び亜鉛を含む。また金属酸化物膜は、金属酸化物膜の膜面に垂直な方向から電子線を照射する電 子線回折で決定される面間隔ｄの分布が、第１のピークと、第２のピークとを有する。また第１の ピークの頂点は、０．２５ｎｍ以上０．３０ｎｍ以下に位置し、第２のピークの頂点は、０．１５ ｎｍ以上０．２０ｎｍ以下に位置する。上記面間隔ｄの分布は、金属酸化物膜の複数の領域におけ る複数の電子線回折パターンから得られるものである。また電子線回折は、ビーム径が０．３ｎｍ 以上１０ｎｍ以下である電子線を用いて行われる。

明細書

発明の名称

金属酸化物膜、半導体装置、及び金属酸化物膜の評価方法

技術分野

［０００１］

本発明の一態様は、金属酸化物膜に関する。本発明の一態様は、金属酸化物膜を用いた半導体装置に関する。本発明の一態様は、金属酸化物膜の評価方法に関する。

［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。本明細書等で開示する本発明の一態様の技術分野としては、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、入出力装置、それらの駆動方法、又はそれらの製造方法、を一例として挙げることができる。半導体装置は、半導体特性を利用することで機能しうる装置全般を指す。

背景技術

［０００３］

トランジスタに適用可能な半導体材料として、酸化物半導体が注目されている。例えば、特許文献１では、複数の酸化物半導体層を積層し、当該複数の酸化物半導体層の中で、チャネルとなる酸化物半導体層がインジウム及びガリウムを含み、且つインジウムの割合をガリウムの割合よりも大きくすることで、電界効果移動度（単に移動度、または μＦＥという場合がある）を高めた半導体装置が開示されている。

［先行技術文献］

［特許文献］

［０００４］

［特許文献１］特開２０１４－７３９９号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

［０００５］

本発明の一態様は、電気特性の高い金属酸化物膜を提供することを課題の一とする。本発明の一態様は、信頼性の高い金属酸化物膜を提供することを課題の一とする。本発明の一態様は、量産性に優れた金属酸化物膜を提供することを課題の一とする。本発明の一態様は、新規な金属酸化物膜を提供することを課題の一とする。

［０００６］

また、本発明の一態様は、金属酸化物膜が適用され、電気特性の高い半導体装置を提供することを課題の一とする。本発明の一態様は、金属酸化物膜が適用され、信頼性の高い半導体装置を提供することを課題の一とする。

［０００７］

また、本発明の一態様は、金属酸化物膜の新規な分析方法、評価方法、または解析方法を提供することを課題の一とする。

［０００８］

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。なお、本発明の一態様は、これらの課題の全てを解決する必要はないものとする。なお、これら以外の課題は、明細書、図面、

請求項などの記載から抽出することが可能である。

課題を解決するための手段

［０００９］

本発明の一態様は、インジウム、Ｍ（Ｍはアルミニウム、ガリウム、イットリウム、またはスズ）、及び亜鉛を含む金属酸化物膜である。金属酸化物膜は、金属酸化物膜の膜面に垂直な方向から電子線を照射する電子線回折で決定される面間隔ｄの分布が、第１のピークと、第２のピークとを有する。第１のピークの頂点が、０．２５ｎｍ以上０．３０ｎｍ以下に位置し、第２のピークの頂点が、０．１５ｎｍ以上０．２０ｎｍ以下に位置する。面間隔ｄの分布は、金属酸化物膜の複数の領域における複数の電子線回折パターンから得られるものである。また電子線回折は、ビーム径が０．３ｎｍ以上１０ｎｍ以下である電子線を用いて行われる。

［００１０］

また、上記において、第１のピークの頂点の高さが、第２のピークの頂点の高さよりも高いことが好ましい。または、上記において、第１のピークの頂点の高さが、第２のピークの頂点の高さよりも低いことが好ましい。

［００１１］

また、本発明の他の一態様は、半導体層と、ゲート電極と、ゲート絶縁層と、を有する半導体装置であって、当該半導体層は、上記いずれか一に記載の金属酸化物膜を含む。

［００１２］

また、本発明の他の一態様は、金属酸化物膜の複数の領域に対して、金属酸化物膜の膜面に垂直な方向から、ビーム径が０．３ｎｍ以上１０ｎｍ以下である電子線を照射して、複数の電子線回折パターンを取得し、複数の電子線回折パターンで観測される複数のスポットに対して、面間隔ｄを算出し、面間隔ｄの度数分布の形状から、金属酸化物膜の結晶性を評価する、金属酸化物膜の評価方法である。

［００１３］

また、本発明の他の一態様は、金属酸化物膜の複数の領域に対して、金属酸化物膜の膜面に垂直な方向から、ビーム径が０．３ｎｍ以上１０ｎｍ以下である電子線を照射して、複数の電子線回折パターンを取得し、複数の電子線回折パターンで観測される複数のスポットに対して、基準線からの角度 θ を算出し、角度 θ の分布の形状から、金属酸化物膜の結晶性を評価する、金属酸化物膜の評価方法である。

発明の効果

［００１４］

本発明の一態様によれば、電気特性の高い金属酸化物膜を提供できる。または、信頼性の高い金属酸化物膜を提供できる。または、新規な金属酸化物膜を提供できる。

［００１５］

本発明の一態様によれば、金属酸化物膜が適用され、電気特性の高い半導体装置を提供できる。または、金属酸化物膜が適用され、信頼性の高い半導体装置を提供できる。

［００１６］

本発明の一態様によれば、金属酸化物膜の新規な分析方法、評価方法、または解析方法を提供できる。

［００１７］

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。なお、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。なお、これら以外の効果は、明細書、図面、請求項などの記載から抽出することが可能である。

図面の簡単な説明

［００１８］

図１Ａは、金属酸化物膜の概略図である。図１Ｂ、図１Ｃは、電子線回折パターンの概略図である。

図１Ｄ、図１Ｅは、ヒストグラムの概略図である。

図２Ａ乃至図２Ｃは、ヒストグラムの概略図である。

図３Ａ、図３Ｂは、電子線回折パターンの概略図である。

図４Ａは、電子線回折パターンである。図４Ｂは、格子面間隔のヒストグラムである。

図５Ａは、電子線回折パターンである。図５Ｂは、格子面間隔のヒストグラムである。

図６Ａは、電子線回折パターンである。図６Ｂは、格子面間隔のヒストグラムである。

図７Ａは、電子線回折パターンである。図７Ｂは、格子面間隔のヒストグラムである。

図８Ａは、電子線回折パターンである。図８Ｂは、格子面間隔のヒストグラムである。

図９Ａは、電子線回折パターンである。図９Ｂは、格子面間隔のヒストグラムである。

図１０は、電子線回折ピークの頻度の比を示す図である。

図１１Ａは、フレーム毎の格子面間隔の変化を示す図である。図１１Ｂは、フレーム毎のスポットの角度の変化を示す図である。

図１２Ａは、フレーム毎の格子面間隔の変化を示す図である。図１２Ｂは、フレーム毎のスポットの角度の変化を示す図である。

図１３Ａ、図１３Ｂ、図１３Ｃは、ＸＲＤスペクトルである。

図１４Ａ、図１４Ｂ、図１４Ｃは、ＸＲＤスペクトルである。

図１５Ａ、図１５Ｂ、図１５Ｃは、ＸＲＤスペクトルである。

図１６Ａ、図１６Ｂ、図１６Ｃは、ＸＲＤスペクトルである。

図１７は、Ｘ線回折ピークの頂点の角度を示す図である。

図１８Ａ乃至図１８Ｅは、計算モデルを示す図である。

図１９Ａ乃至図１９Ｅは、計算モデルを示す図である。

図２０Ａは、温度と平均エネルギーの関係を示す図である。図２０Ｂは、温度と平均エネルギーの差の関係を示す図である。

図２１は、欠陥の生成エネルギーを説明する図である。

図２２Ａは、ＩＧＺＯの結晶構造の分類を説明する図である。図２２Ｂは、石英ガラスのＸＲＤスペクトルを説明する図である。図２２Ｃは、結晶性ＩＧＺＯのＸＲＤスペクトルを説明する図である。図２２Ｄは、結晶性ＩＧＺＯの極微電子線回折パターンを説明する図である。

図２３Ａは、半導体装置の上面図である。図２３Ｂ、図２３Ｃは、半導体装置の断面図である。

図２４Ａ、図２４Ｂは、半導体装置の断面図である。

図２５Ａは、半導体装置の上面図である。図２５Ｂ、図２５Ｃは、半導体装置の断面図である。

図２６Ａは、半導体装置の上面図である。図２６Ｂ、図２６Ｃは、半導体装置の断面図である。

図２７Ａ、図２７Ｂは、半導体装置の断面図である。

図２８Ａ乃至図２８Ｃは、表示装置の構成例を示す図である。

図２９は、表示装置の断面構成例を示す図である。

図３０は、表示装置の断面構成例を示す図である。
図３１は、表示装置の断面構成例を示す図である。
図３２Ａは、表示装置のブロック図である。図３２Ｂ、図３２Ｃは、表示装置の回路図である。
図３３Ａ、図３３Ｃ、図３３Ｄは、表示装置の回路図である。図３３Ｂは、タイミングチャートである。
図３４Ａ、図３４Ｂは、表示モジュールの構成例である。
図３５Ａ乃至図３５Ｃは、電子機器の構成例を示す図である。
図３６Ａ乃至図３６Ｅは、電子機器の構成例を示す図である。
図３７Ａ乃至図３７Ｇは、電子機器の構成例を示す図である。
図３８Ａ乃至図３８Ｄは、電子機器の構成例を示す図である。
図３９Ａ乃至図３９Ｄは、トランジスタのＩｄ－Ｖｇ特性を示す図である。
図４０は、トランジスタの信頼性評価結果を示す図である。
図４１Ａ乃至図４１Ｄは、トランジスタのＩｄ－Ｖｇ特性を示す図である。
図４２は、ＨＡＡＤＥＦ－ＳＴＥＭ像及びＥＤＸマッピング画像である。
図４３Ａ乃至図４３Ｄは、金属酸化物膜の組成の定量分析結果である。
図４４Ａ乃至図４４Ｃは、金属酸化物膜の組成のヒストグラムである。

発明を実施するための形態

［００１９］
以下、実施の形態について図面を参照しながら説明する。ただし、実施の形態は多くの異なる態様で実施することが可能であり、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、以下の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。

［００２０］
なお、以下に説明する発明の構成において、同一部分又は同様な機能を有する部分には同一の符号を異なる図面間で共通して用い、その繰り返しの説明は省略する。また、同様の機能を指す場合には、ハッチパターンを同じくし、特に符号を付さない場合がある。

［００２１］
なお、本明細書で説明する各図において、各構成要素の大きさ、層の厚さ、または領域は、明瞭化のために誇張されている場合がある。よって、必ずしもそのスケールに限定されない。

［００２２］
なお、本明細書等における「第１」、「第２」等の序数詞は、構成要素の混同を避けるために付すものであり、数的に限定するものではない。

［００２３］
トランジスタは半導体素子の一種であり、電流や電圧の増幅や、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）や薄膜トランジスタ（ＴＦＴ：Ｔｈｉｎ Ｆｉｌｍ Ｔｒａｎｓｉｓｔｏｒ）を含む。

［００２４］
また、「ソース」や「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や、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」や「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。

［００２５］

また、本明細書等において、「膜」という用語と、「層」という用語とは、互いに入れ替えることが可能である。例えば、「導電層」や「絶縁層」という用語は、「導電膜」や「絶縁膜」という用語に相互に交換することが可能な場合がある。

［００２６］

本明細書等において、表示装置の一態様である表示パネルは表示面に画像等を表示（出力）する機能を有するものである。したがって表示パネルは出力装置の一態様である。

［００２７］

また、本明細書等では、表示パネルの基板に、例えばＦＰＣ（Ｆｌｅｘｉｂｌｅ　Ｐｒｉｎｔｅｄ　Ｃｉｒｃｕｉｔ）もしくはＴＣＰ（Ｔａｐｅ　Ｃａｒｒｉｅｒ　Ｐａｃｋａｇｅ）などのコネクターが取り付けられたもの、または基板にＣＯＧ（Ｃｈｉｐ　Ｏｎ　Ｇｌａｓｓ）方式等によりＩＣが実装されたものを、表示パネルモジュール、表示モジュール、または単に表示パネルなどと呼ぶ場合がある。

［００２８］

なお、本明細書等において、表示装置の一態様であるタッチパネルは表示面に画像等を表示する機能と、表示面に指やスタイラスなどの被検知体が触れる、押圧する、または近づくことなどを検出するタッチセンサとしての機能と、を有する。したがってタッチパネルは入出力装置の一態様である。

［００２９］

タッチパネルは、例えばタッチセンサ付き表示パネル（または表示装置）、タッチセンサ機能つき表示パネル（または表示装置）とも呼ぶことができる。タッチパネルは、表示パネルとタッチセンサパネルとを有する構成とすることもできる。または、表示パネルの内部または表面にタッチセンサとしての機能を有する構成とすることもできる。

［００３０］

また、本明細書等では、タッチパネルの基板に、コネクターやＩＣが実装されたものを、タッチパネルモジュール、表示モジュール、または単にタッチパネルなどと呼ぶ場合がある。

［００３１］

（実施の形態１）

本実施の形態では、本発明の一態様の金属酸化物膜、及び金属酸化物膜の評価方法について説明する。

［００３２］

［金属酸化物膜］

図１Ａに、基板１０上に形成された金属酸化物膜１１の概略図を示している。

［００３３］

本発明の一態様の金属酸化物膜１１は、インジウム、Ｍ（Ｍはアルミニウム、ガリウム、イットリウム、またはスズ）、及び亜鉛を含む酸化物膜である。このような酸化物膜は、半導体特性を示す特徴を有する。金属酸化物膜１１は、スパッタリング法により成膜された膜であることが好ましい。特に、スパッタリングターゲットとして、多結晶の金属酸化物ターゲットを用いることが好ましい。

［００３４］

金属酸化物膜１１は、ランダムに配向した（配向性を有さないともいう）極めて微小な（数ｎｍ以下の）複数の結晶領域が含まれる。このような結晶性を有する金属酸化物膜１１は、非晶質の金属酸化物膜と比較して信頼性が極めて高い。また、金属酸化物膜１１は、配向性を有さない結晶領域と、配向性を有する結晶領域とが混在した膜であってもよい。

［００３５］

本発明の一態様の金属酸化物膜１１は、半導体装置に適用することができる。例えば、トランジスタのチャネルが形成される半導体に適用することができる。

［００３６］

金属酸化物膜１１としては、特に、インジウム、ガリウム、及び亜鉛を含む酸化物膜であることが好ましい。また、金属酸化物膜１１として、金属酸化物膜１１が含む金属元素のうち、インジウムの含有比率の高い材料を用いることが好ましい。特に、ガリウムの含有率よりもインジウムの含有率が高い材料を用いることが好ましい。このような金属酸化物膜１１をトランジスタの半導体層に適用することで、電界効果移動度の高いトランジスタを実現することができる。

［００３７］

金属酸化物膜１１は、成膜条件を異ならせることにより、結晶性を制御することができる。例えば、成膜ガス中の酸素ガスの割合（酸素流量比ともいう）を高くして成膜することで結晶性の高い膜とすることができる。一方、成膜ガス中の酸素ガスの割合を低くする、または酸素ガスを含まない成膜ガスを用いて成膜することで、結晶性の低い膜とすることができる。または、成膜時の基板温度を高くするほど、結晶性の高い膜とすることができ、基板温度を低くする、または基板加熱を行わない状態で成膜することで、結晶性の低い膜とすることができる。金属酸化物膜１１は、結晶性が高いほど、膜の安定性が向上する。一方、結晶性が低いほど、トランジスタに適用した際に、電界効果移動度を高めることができる。

［００３８］

［電子線回折］

本発明の一態様の金属酸化物膜１１は、膜面に垂直な方向から、電子線を照射して得られる電子線回折パターンに、以下の特徴が現れる膜である。

［００３９］

電子線回折法としては、電子ビームを収束させて試料に照射するナノビーム電子回折（ＮＢＥＤ：Ｎａｎｏ　Ｂｅａｍ　Ｅｌｅｃｔｒｏｎ　Ｄｉｆｆｒａｃｔｉｏｎ）法を用いることが好ましい。または、平行電子線を用い、照射領域を絞って微小領域に電子線を照射する制限視野電子線回折（ＳＡＥＤ：Ｓｅｌｅｃｔｅｄ　Ａｒｅａ　Ｅｌｅｃｔｒｏｎ　Ｄｉｆｆｒａｃｔｉｏｎ）法を用いてもよい。

［００４０］

極めて微小な結晶領域を有する金属酸化物膜１１に対して、電子線のビーム径を極めて小さくした条件（例えば０．３ｎｍ以上且つ１０ｎｍ以下または５ｎｍ以下）で電子線回折パターンを測定すると、円周方向（θ 方向ともいう）に離散的に分布した複数のスポットが確認される。一方、ビーム径を大きくした条件（例えば５０ｎｍ以上、または１００ｎｍ以上）における電子線回折パターンでは、リング状（環状ともいう）のパターンが観測される。

［００４１］

図１Ｂ、図１Ｃに、金属酸化物膜１１の膜面に垂直な方向から、ビーム径が数ｎｍの電子線を照射して得られる電子線回折パターンの概略図を示す。図１Ｂに示す電子線回折パターン２０ａは、図１Ａで示す領域１２ａにおける電子線回折パターンであり、図１Ｃに示す電子線回折パターン２０ｂは、領域１２ａとは異なる領域１２ｂにおける電子線回折パターンである。

［００４２］

図１Ｂに示すように、金属酸化物膜１１の電子線回折パターン２０ａには、試料を透過した入射電子線のスポット（ダイレクトスポット２０）と、ダイレクトスポット２０に近い側に第１のスポット２１と、第１のスポット２１よりもダイレクトスポット２０から遠い側に第２のスポット２２が観測される。

［００４３］

第１のスポット２１は、ダイレクトスポット２０からの動径方向の距離ｒが距離ｒ１及びその近傍に位置する環状の第１の領域３１内に観測される。また、第２のスポット２２は、ダイレクトスポット２０からの動径方向の距離ｒが距離ｒ２及びその近傍に位置する環状の第２の領域３２内に観測される。第２の領域３２は、第１の領域３１よりも外側に位置する。すなわち距離ｒ２は、距離ｒ１よりも大きい。

［００４４］

また、図１Ａに示すように、電子線の照射位置を金属酸化物膜１１の膜面方向に平行に走査して、領域１２ａとは異なる領域（領域１２ｂ）の電子線回折パターンを観測すると、図１Ｃに示すように、第１の領域３１内の異なる位置に第１のスポット２１が、第２の領域３２内の異なる位置に第２のスポット２２が、それぞれ観測される。

［００４５］

このことから、金属酸化物膜１１は、極めて微小な結晶領域が含まれていることが分かる。また、異なる領域では第１のスポット２１及び第２のスポット２２の位置が異なることから、金属酸化物膜１１に含まれる微小な結晶領域は配向性を有さないことが分かる。

［００４６］

このように、電子線の照射位置を金属酸化物膜１１の膜面方向に平行に走査しながら測定することで、複数の電子線回折パターンを観測することができる。こうして得られる複数の電子線回折パターンのそれぞれからは、第１のスポット２１及び第２のスポット２２の位置と、検出強度などの情報を取得することができる。第１のスポット２１及び第２のスポット２２の位置情報としては、ダイレクトスポット２０からの距離ｒと、任意に決定される基準線からの角度θがある。複数の電子線回折パターンから得られた情報から、距離ｒ、角度θ、検出強度などに対するヒストグラム（分布図、度数分布図ともいう）を得ることができる。

［００４７］

本発明の一態様の金属酸化物膜の評価方法について説明する。まず金属酸化物膜の複数の領域に対して、金属酸化物膜の膜面に垂直な方向から、ビーム径が０．３ｎｍ以上１０ｎｍ以下である電子線を照射して、複数の電子線回折パターンを取得する。続いて、取得した複数の電子線回折パターンで観測される複数のスポットに対して、面間隔ｄを算出する。そして、算出した面間隔ｄの度数分布の形状から、金属酸化物膜の結晶性を評価することができる。

［００４８］

また、同様に取得した複数の電子線回折パターンで観測される複数のスポットに対して、基準線

からの角度 θ を算出し、当該角度 θ の分布の形状から、金属酸化物膜の結晶性を評価することができる。

［００４９］

また、同様に取得した複数の電子線パターンで観測される複数のスポットの輝度（検出強度）の情報（例えば分布の形状）から、金属酸化物膜の結晶性を評価することもできる。

［００５０］

取得する電子線回折パターンの数が多いほど情報の正確性が高くなるため好ましい。例えば、電子線回折パターンを５０以上、好ましくは１００以上、より好ましくは１０００以上取得することが好ましい。上限は特に限られないが、１万以下、または５０００以下でも十分に精度の高い情報を得ることができる。

［００５１］

以下では、より具体的な例について説明する。

［００５２］

図１Ｄに、金属酸化物膜１１の電子線回折パターンで観測されたスポットの数（頻度）を、ダイレクトスポット２０からの距離ｒに対して示したヒストグラム３０ｒの例を示す。図１Ｄに示すように、ヒストグラム３０ｒには、第１の領域３１内にピークの頂点が位置する第１のスポット２１のピークと、第２の領域３２内にピークの頂点を有する第２のスポット２２のピークが、それぞれ存在する。

［００５３］

電子線回折法では、ダイレクトスポットの中心から、対象のスポットまでの距離ｒを用いて、下記数式（１）によって、当該スポットに対応する面間隔ｄの値（以下、ｄ値という）を算出することができる。

［００５４］

［数１］

ｄ＝Ｌλ／ｒ・・・・（１）

数式（１）において、Ｌはカメラ距離であり、λ は電子線の波長である。

［００５５］

このようにして算出したｄ値を用いて作成されるヒストグラム３０を、図１Ｅに示す。

［００５６］

本発明の一態様の金属酸化物膜１１の電子線回折パターンから得られるｄ値のヒストグラムは、図１Ｅに示すように、２つのピーク（ｄ値の大きい側から、第１のピーク４１、第２のピーク４２）を有する。

［００５７］

図１Ｅに示すように、金属酸化物膜１１は、ｄ値の度数分布の形状が、ｄ値が０．２５ｎｍ以上０．３０ｎｍ以下の範囲に第１のピーク４１の頂点が位置し、ｄ値が０．１５ｎｍ以上０．２０ｎｍ以下の範囲に第２のピーク４２の頂点が位置する膜であることが好ましい。

［００５８］

第１のピーク４１を構成する複数の第１のスポット２１には、金属酸化物膜１１に含まれる微小な結晶性クラスターの中距離秩序構造に由来する散乱電子によるスポットが含まれる。第１のスポット２１は、当該結晶性クラスターにおける面間隔の異なる回折による散乱電子や、構造の異なる

結晶性クラスターからの散乱電子などを含むため、散乱角にばらつきが生じ、その結果、第１のスポット２１のｄ値の観測されうる領域の幅が大きくなる。そのため、第１のピーク４１の半値全幅は、第２のピーク４２の半値全幅よりも大きい傾向がある。

［００５９］

なお、第１のスポット２１には、金属酸化物膜１１に含まれる微小な結晶領域により回折された回折電子によるスポットが含まれていてもよい。

［００６０］

第２のピーク４２を構成する複数の第２のスポット２２は、金属酸化物膜１１に含まれる微小な結晶領域により回折された回折電子によるスポットである。例えば当該結晶領域が、ＩｎＧａＺｎＯ$_4$結晶と同様の結晶構造を有する場合には、第２のスポット２２は、（１１０）面及びこれと等価な結晶面による回折電子に由来すると推察される。

［００６１］

ヒストグラム３０が有する第１のピーク４１と第２のピーク４２の形状や高さは、金属酸化物膜１１の結晶性を反映した形状となる。したがって、ヒストグラム３０の度数分布の形状から、金属酸化物膜１１の結晶性を評価することが可能となる。

［００６２］

一例として、図２Ａ、図２Ｂ、図２Ｃには、異なる結晶性を有する金属酸化物膜１１のヒストグラム３０をそれぞれ示している。

［００６３］

図２Ａに示すヒストグラム３０ａは、結晶性の低い金属酸化物膜１１の例である。図２Ａでは、第１のピーク４１の頂点の値であるピーク値Ｐ１と、第２のピーク４２の頂点の値であるピーク値Ｐ２と、を示している。なお、ピーク値Ｐ１及びピーク値Ｐ２の高さ及び位置は、ヒストグラム３０ａのデータの分割幅（階級幅）に応じて変化するため、当該階級幅は適当な幅とすることができる。代表的には、階級の数を全データ数の平方根程度とすることが好ましい。

［００６４］

ヒストグラム３０ａでは、第１のピーク４１のピーク値Ｐ１よりも、第２のピーク４２のピーク値Ｐ２の方が低い。また、これよりもさらに結晶性の低い金属酸化物膜１１では、第２のピーク４２がほとんど観測されない場合もある。

［００６５］

図２Ｂに示すヒストグラム３０ｂは、図２Ａよりも結晶性が高い金属酸化物膜１１の例である。結晶性が向上することにより、回折電子に由来する第２のスポット２２の数が増えることで、第２のピーク４２のピーク値Ｐ２が図２Ａよりも高くなる。一方、金属酸化物膜１１中の低秩序領域の存在割合が減少することにより、第１のスポット２１の数が減少し、第１のピーク４１のピーク値Ｐ１が低くなる。これにより、図２Ａと比較して、第１のピーク４１のピーク値Ｐ１と第２のピーク４２のピーク値Ｐ２との差が小さくなる。

［００６６］

図２Ｃに示すヒストグラム３０ｃは、図２Ｂよりもさらに結晶性が高い金属酸化物膜１１の例である。結晶性の向上に伴い、第２のスポット２２の数がさらに増えることと、第１のスポット２１の数が減少することにより、第１のピーク４１のピーク値Ｐ１と第２のピーク４２のピーク値Ｐ２との大小関係が逆転し、ピーク値Ｐ２がピーク値Ｐ１よりも大きくなっている。

［００６７］
以上が、ヒストグラムの例である。ここで示した評価方法によれば、ヒストグラムの度数分布の形状から、金属酸化物膜１１の結晶性を評価することが可能となる。また、異なる成膜条件で成膜した金属酸化物膜１１に対して、ヒストグラムの度数分布の形状を比較することで、これらの結晶性を比較することもできる。

［００６８］
金属酸化物膜１１は、結晶性の低い領域と、結晶性の高い領域とが混在した膜であってもよい。このような金属酸化物膜１１に対して、上記のように、膜面方向に平行に電子線を走査させながら、電子線回折パターンの測定を行うと、結晶性の低い領域に由来する電子線回折パターンと、結晶性の高い領域に由来する電子線回折パターンとが、交互に現れる場合がある。

［００６９］
図３Ａには、金属酸化物膜１１の結晶性の低い領域を測定した際の、電子線回折パターン２０ｃの例を示している。

［００７０］
電子線回折パターン２０ｃでは、第１の領域３１内に複数の第１のスポット２１が観測されている。第１のスポット２１は、動径方向の位置（具体的にはダイレクトスポット２０から第１のスポット２１までの距離）に、ばらつきがある。また、ここでは示さないが、第１のスポット２１の検出強度にもばらつきがある。

［００７１］
また、電子線回折パターン２０ｃでは、第２の領域３２内に第２のスポット２２が観測されている。第２のスポット２２は、動径方向のばらつきは、第１のスポット２１に比べて小さい。また、結晶性が低い領域であるため、多くの場合、第２のスポット２２の観測される数は、第１のスポット２１よりも少なくなる。また、検出強度も比較的小さくなる場合がある。

［００７２］
図３Ｂには、金属酸化物膜１１の結晶性の高い領域を測定した際の、電子線回折パターン２０ｄの例を示している。

［００７３］
電子線回折パターン２０ｄでは、第１の領域３１内に、６個の第１のスポット２１が観測されている。ダイレクトスポット２０を中心として、隣り合う２つの第１のスポット２１が成す角 $\theta 1$ は、概ね６０度である。すなわち、６個の第１のスポット２１は、ダイレクトスポット２０を中心として、６回対称性を満たすように観測される。また、第１のスポット２１の動径方向の位置、及び検出強度は、上記電子線回折パターン２０ｃと比較して、ばらつきが小さくなる。

［００７４］
また、電子線回折パターン２０ｄでは、第２の領域３２内に、６個の第２のスポット２２が観測されている。第２のスポット２２も第１のスポット２１と同様に、６回対称性を満たすように観測され、隣り合う２つの第２のスポット２２の成す角 $\theta 2$ は、概ね６０度である。

［００７５］
また、ダイレクトスポット２０を中心として、第１のスポット２１と、第２のスポット２２とが成す角 $\theta 3$ は、概ね３０度となる。このことから、金属酸化物膜１１の結晶性の高い領域は、膜面に垂直な軸に対して６回対称性を有することが分かる。

［００７６］
金属酸化物膜１１に含まれる結晶領域が、ＩｎＧａＺｎ$_2$Ｏ$_5$結晶と同様の結晶構造を有する場合、第１のスポット２１は、（１００）面及びこれと等価な結晶面による回折電子に由来すると推察される。なお結晶領域が、ＩｎＧａＺｎＯ$_4$結晶と同様の結晶構造を有する場合には、（１００）面は消滅則を満たすため、原理的には回折電子は観測されない。しかしながら、ＩｎＧａＺｎＯ$_4$結晶と同様の結晶構造を有する場合であっても、結晶領域全体が完全な結晶ではなく、格子歪が含まれる不完全な状態であることにより消滅則が破られ、本来観測されないはずの（１００）面からの回折電子が観測される場合がある。
［００７７］
また、金属酸化物膜１１に含まれる結晶領域の結晶構造が、六方晶系に分類される場合には、膜面に対して垂直に電子線を照射して得られる電子線回折パターン２０ｄが６回対称性を有することから、金属酸化物膜１１に含まれる結晶領域の結晶方位としては、ｃ軸が膜厚方向に配向していることを推察できる。
［００７８］
［金属酸化物膜の形成方法］
以下では、本発明の一態様の金属酸化物膜の形成方法について説明する。
［００７９］
本発明の一態様の金属酸化物膜は、基板を加熱して、または基板を加熱しない状態で、スパッタリング法により形成することができる。
［００８０］
基板を加熱して成膜する場合、基板温度としては、室温以上２５０℃以下、好ましくは室温以上２００℃以下、より好ましくは室温以上１４０℃以下とすればよい。例えば基板温度を、室温以上１４０℃未満とすると、生産性が高くなり好ましい。
［００８１］
基板を加熱することなく成膜する場合、基板温度は初期の状態で室温またはその近傍の温度となる。なお、成膜時にスパッタリング粒子等により基板に与えられるエネルギーにより、基板が加熱される場合もある。また、金属酸化物膜を成膜する装置に、基板を加熱する機構を必要としないため、装置を簡略化し、コストを低減することができる。
［００８２］
成膜時、酸素を含む雰囲気下としてもよい。例えば、成膜装置の成膜室に供給する成膜ガスの全流量に対する酸素の流量の割合（以下、酸素の流量比という）を、０％以上１００％以下の範囲で適切な値とすることができる。酸素流量を調整することにより、成膜される金属酸化物膜の結晶性を制御することができる。具体的には、酸素の流量比が高いほど結晶性の高い金属酸化物膜とすることができ、酸素の流量比が低いほど、結晶性の低い金属酸化物膜とすることができる。成膜ガスに含まれる酸素以外のガスとしては、例えばアルゴンなどの希ガスを用いることができる。酸素を含む雰囲気下で成膜することにより、金属酸化物膜中の酸素欠損を低減することができる。また、酸素を含まない雰囲気下としてもよい。
［００８３］
金属酸化物膜の成膜に用いることの可能な酸化物ターゲットとしては、例えば、Ｉｎ－Ｍ－Ｚｎ系酸化物（Ｍは、Ａｌ、Ｇａ、Ｙ、またはＳｎ）を適用することができる。特に、Ｉｎ－Ｇａ－Ｚ

ｎ系酸化物を用いることが好ましい。

［００８４］

また、金属酸化物膜の成膜に用いることの可能な酸化物ターゲットとして、Ｉｎ－M系酸化物や、Ｉｎ－Ｚｎ系酸化物などを用いることもできる。特にＩｎ－Ｇａ酸化物は酸素欠損を形成しにくいため好ましい。

［００８５］

ここで、酸化物ターゲットに含まれる金属酸化物は、Ｉｎの含有比率が高いことが好ましい。例えば、Ｉｎ、M、及びＺｎそれぞれの組成の総和を１（１００％）としたとき、Ｉｎの割合が３３％以上６０％以下、好ましくは４０％以上、５０％以下である金属酸化物ターゲットを用いることが好ましい。代表的には、Ｉｎ：Ｇａ：Ｚｎ＝１：１：１及びその近傍の酸化物、Ｉｎ：Ｇａ：Ｚｎ＝４：２：３及びその近傍の酸化物、Ｉｎ：Ｇａ：Ｚｎ＝４：２：４．１及びその近傍の酸化物、Ｉｎ：Ｇａ：Ｚｎ＝５：１：３及びその近傍の酸化物、Ｉｎ：Ｇａ：Ｚｎ＝５：３：４及びその近傍の酸化物、または、Ｉｎ：Ｇａ：Ｚｎ＝１０：１：３及びその近傍の酸化物などを用いることができる。

［００８６］

これにより、成膜された金属酸化物膜は、Ｉｎの含有比率の高い金属酸化物膜とすることができる。ここで、成膜された金属酸化物膜と、酸化物ターゲットの組成は必ずしも一致しない場合がある。特に、成膜された金属酸化物膜は、酸化物ターゲットと比較してＺｎの含有率が低下しやすい傾向がある。

［００８７］

以上のようにして、金属酸化物膜を形成することができる。

［００８８］

なお、金属酸化物膜の成膜方法としては、上記に限られない。他の成膜方法としては、プラズマ化学気相堆積（ＰＥＣＶＤ）法、熱ＣＶＤ（Ｃｈｅｍｉｃａｌ　Ｖａｐｏｒ　Ｄｅｐｏｓｉｔｉｏｎ）法、ＡＬＤ（Ａｔｏｍｉｃ　Ｌａｙｅｒ　Ｄｅｐｏｓｉｔｉｏｎ）法、真空蒸着法、パルスレーザ堆積（ＰＬＤ）法、液相法（スピンコート法、スプレー法等）などを用いてもよい。熱ＣＶＤ法の例としては、ＭＯＣＶＤ（Ｍｅｔａｌ　Ｏｒｇａｎｉｃ　Ｃｈｅｍｉｃａｌ　Ｖａｐｏｒ　Ｄｅｐｏｓｉｔｉｏｎ）法等が挙げられる。

［００８９］

以上が、金属酸化物膜の形成方法についての説明である。

［００９０］

［金属酸化物膜の評価例］

以下では、本発明の一態様の金属酸化物膜について、上記で例示した評価方法を用いて分析した結果について説明する。

［００９１］

作製方法が異なる金属酸化物膜について、ナノビーム電子回折分析、及びＸ線回折（ＸＲＤ：Ｘ－Ｒａｙ　Ｄｉｆｆｒａｃｔｉｏｎ）分析を行い、結晶性の評価を行った。評価には、シリコンウェハ上に厚さ４０ｎｍの金属酸化物膜を形成した試料（ｓａｍｐｌｅ　Ａ１乃至ｓａｍｐｌｅ　Ａ６）を用いた。金属酸化物膜としてＩｎ－Ｇａ－Ｚｎ酸化物を用い、試料間で金属酸化物膜の成膜条件を異ならせた。

［００９２］

〔試料作製〕

金属酸化物膜の成膜は、Ｉｎ－Ｇａ－Ｚｎ酸化物ターゲット（Ｉｎ：Ｇａ：Ｚｎ＝４：２：４．１［原子数比］）を用いたスパッタリング法により形成した。なお、Ｉｎ：Ｇａ：Ｚｎ＝４：２：４．１［原子数比］の組成のターゲットを用いて形成された試料の膜組成は、概ねＩｎ：Ｇａ：Ｚｎ＝４：２：３［原子数比］となる。

［００９３］

ｓａｍｐｌｅ　Ａ１乃至ｓａｍｐｌｅ　Ａ６の金属酸化物膜の成膜条件を、表１に示す。なお、表１において、金属酸化物膜の成膜時の基板温度をＴｓｕｂ、酸素流量比をO_2／（Ａｒ＋O_2）、圧力をＰｒｅｓｓｕｒｅ、電源電力をＰｏｗｅｒと記している。

［００９４］

［表１］

		Tsub	O_2/(Ar+O_2)	Pressure	Power
sample A1	IGZO (4:2:3)	RT	10%	0.6Pa	2.5kW
sample A2		RT	30%	0.6Pa	2.5kW
sample A3		RT	40%	0.6Pa	2.5kW
sample A4		RT	50%	0.6Pa	2.5kW
sample A5		100℃	10%	0.6Pa	2.5kW
sample A6		100℃	30%	0.6Pa	2.5kW

［００９５］

ｓａｍｐｌｅ　Ａ１は、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を、室温（以下、ＲＴとも記す）とした。成膜ガスとして酸素ガスとアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を１０％とした。成膜時の圧力を０．６Ｐａとし、電源電力を２．５ｋＷとした。

［００９６］

ｓａｍｐｌｅ　Ａ２は、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を、室温（ＲＴ）とした。成膜ガスとして酸素ガスとアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を３０％とした。成膜時の圧力を０．６Ｐａとし、電源電力を２．５ｋＷとした。

［００９７］

ｓａｍｐｌｅ　Ａ３は、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を、室温（ＲＴ）とした。成膜ガスとして酸素ガスとアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を４０％とした。成膜時の圧力を０．６Ｐａとし、電源電力を２．５ｋＷとした。

［００９８］

ｓａｍｐｌｅ　Ａ４は、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を、室温（ＲＴ）とした。成膜ガスとして酸素ガスとアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を５０％とした。成膜時の圧力を０．６Ｐａとし、電源電力を２．５ｋＷとした。

［００９９］

ｓａｍｐｌｅ　Ａ５は、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を、１００℃とした。成膜ガスとして酸素ガスとアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を１０％とした。成膜時の圧力を０．６Ｐａとし、電源電力を２．５ｋＷとした。

［０１００］

ｓａｍｐｌｅ　Ａ６は、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を、１００℃とした。成膜ガスとして

酸素ガスとアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を３０％とした。成膜時の圧力を０．６Ｐａとし、電源電力を２．５ｋＷとした。

［０１０１］

〔ナノビーム電子回折〕

ｓａｍｐｌｅ　Ａ１乃至ｓａｍｐｌｅ　Ａ６をそれぞれ、金属酸化物膜の被形成面に平行な方向に薄片化し、厚さを約２０ｎｍ乃至３０ｎｍとした。薄片化後の試料は、金属酸化物膜を成膜した際の金属酸化物膜の表面を含む。

［０１０２］

次に、加速電圧が２００ｋＶ（波長：約２．５１ｐｍ）、ビーム径が１ｎｍの電子線を、金属酸化物膜の被形成面の垂直な方向から入射させ、複数の電子線回折パターンを得た。電子線照射箇所を移動させながら、電子線回折パターンを動画で撮影することで、複数の電子線回折パターンを得た。動画は、電子線照射箇所を１フレームあたり約０．０８ｎｍ乃至０．１０ｎｍ移動させながら撮影し、各試料でそれぞれ約３７００フレームを得た。電子線回折パターンの撮影は、２００画素×２００画素のイメージングプレートを用いた。１画素に対する散乱ベクトルの大きさ（ｑ）は、０．０８２４２６／ｎｍ／ｐｉｘｅｌであった。

［０１０３］

次に、動画のフレーム毎に、スポットの解析を行った。

［０１０４］

ｓａｍｐｌｅ　Ａ１のナノビーム電子回折結果を、図４Ａ、図４Ｂに示す。ｓａｍｐｌｅ　Ａ２のナノビーム電子回折結果を、図５Ａ、図５Ｂに示す。ｓａｍｐｌｅ　Ａ３のナノビーム電子回折結果を、図６Ａ、図６Ｂに示す。ｓａｍｐｌｅ　Ａ４のナノビーム電子回折結果を、図７Ａ、図７Ｂに示す。ｓａｍｐｌｅ　Ａ５のナノビーム電子回折結果を、図８Ａ、図８Ｂに示す。ｓａｍｐｌｅ　Ａ６のナノビーム電子回折結果を、図９Ａ、図９Ｂに示す。

［０１０５］

図４Ａ、図５Ａ、図６Ａ、図７Ａ、図８Ａ及び図９Ａはそれぞれ、各試料の動画における最終フレームの電子線回折パターンを示している。各図において、上側の横軸及び右側の縦軸に、イメージングプレートの画素の座標（ｐｉｘｅｌと表記）を、左下を基準として示している。また、下側の横軸及び左側の縦軸に、散乱ベクトルの大きさ（ｑ［／ｎｍ］）を示している。また、各図に示す各点は、スポットの強度（検出強度（Ｉｎｔｅｎｓｉｔｙ））が高いほど濃い色で、強度が低いほど薄い色で示している。

［０１０６］

電子線回折パターンの中心から３０画素以上９０画素以下の領域に観察されたスポット（第１のスポット）について、それぞれのスポットの位置及び強度の値を得た。図４Ａ、図５Ａ、図６Ａ、図７Ａ、図８Ａ及び図９Ａでは、中心から３０画素の領域、及び中心から９０画素の領域を、実線の円で示している。電子線回折パターンの中心から３０画素以上９０画素以下の領域は、格子面間隔（ｄ）が０．１３３４８ｎｍ以上０．４０４４ｎｍ以下に相当する。また、スポットの強度（０乃至２５５）が６４以上であり、かつ面積が２画素以上のスポットのみを評価の対象とした。図４Ａ、図５Ａ、図６Ａ、図７Ａ、図８Ａ及び図９Ａでは、電子線回折パターンの中心と、各スポットを実線で結んでいる。なお、電子線回折パターンの中心は、試料内で回折せずに透過した入射電子線のスポット（ダイレクトスポットともいう）の中心とした。

［０１０７］
図４Ｂ、図５Ｂ、図６Ｂ、図７Ｂ、図８Ｂ及び図９Ｂはそれぞれ、各試料について取得した動画の全フレームにおける格子面間隔（ｄ）のヒストグラム（度数分布図）である。各図において、横軸に格子面間隔（ｄ［ｎｍ］）を示し、縦軸に頻度（Ｆｒｅｑｕｅｎｃｙ［ｃｏｕｎｔ］）を示す。なお、本実施の形態では、ヒストグラムのデータ区間（階級幅）を格子面間隔（ｄ）＝０．００２ｎｍとした。

［０１０８］
図４Ｂ、図５Ｂ、図６Ｂ、図７Ｂ、図８Ｂ及び図９Ｂに示すように、全ての条件において、格子面間隔（ｄ）の値が０．２５ｎｍ以上０．３０ｎｍ以下の範囲に頂点を有するピーク（第１のピーク）と、０．１５ｎｍ以上０．２０ｎｍ以下の範囲に頂点を有するピーク（第２のピーク）を有している。

［０１０９］
ここで、ｓａｍｐｌｅ　Ａ１乃至ｓａｍｐｌｅ　Ａ４について、第１のピークの頂点の値（ピーク値Ｐ１）に対する、第２のピークの頂点の値（ピーク値Ｐ２）の比（Ｐ２／Ｐ１）を、図１０に示す。図１０において、横軸に金属酸化物膜の成膜時の酸素流量比（O_2／（Ａｒ＋O_2）［％］）を示し、縦軸にピーク値Ｐ１に対する、ピーク値Ｐ２の比（Ｐ２／Ｐ１）を示す。なお、図１０では、ピーク値Ｐ１としてｄ＝０．２７８ｎｍでの頻度を、ピーク値Ｐ２としてｄ＝０．１６８ｎｍでの頻度を用いた値を示している。

［０１１０］
ｓａｍｐｌｅ　Ａ１乃至ｓａｍｐｌｅ　Ａ４を比較すると、酸素流量比が高いほど、第２のピークが増大する傾向がみられる。またｓａｍｐｌｅ　Ａ１乃至ｓａｍｐｌｅ　Ａ３では第１のピークの頂点の値（ピーク値Ｐ１）が、第２のピークの頂点の値（ピーク値Ｐ２）よりも高い。一方、最も酸素流量比の高い条件のｓａｍｐｌｅ　Ａ４では、これらの大小関係が逆転し、第２のピークの頂点の値（ピーク値Ｐ２）が、第１のピークの頂点の値（ピーク値Ｐ１）を上回っており、図１０で示すＰ２／Ｐ１の値も、１を超える値となっている。

［０１１１］
同様に、ｓａｍｐｌｅ　Ａ５とｓａｍｐｌｅ　Ａ６を比較すると、酸素流量比の低い条件のｓａｍｐｌｅ　Ａ５では第１のピークの頂点の値が、第２のピークの頂点の値よりも高いのに対し、酸素流量比の高い条件のｓａｍｐｌｅ　Ａ６では、第２のピークの頂点の値が、第１のピークの頂点の値を上回っている。このことから、酸素流量比が高いほど結晶性が向上していることが確認できる。

［０１１２］
また、同じ酸素流量比の条件で成膜したｓａｍｐｌｅ　Ａ１とｓａｍｐｌｅ　Ａ５を比較すると、ｓａｍｐｌｅ　Ａ５の方が第２のピークが大きい。またｓａｍｐｌｅ　Ａ２とｓａｍｐｌｅ　Ａ６についても同様である。このことから、同じ酸素流量比の条件であっても、成膜時の基板温度が高いほど、結晶性が向上することが確認できる。

［０１１３］
本発明の一態様の評価方法では、ヒストグラムだけではなく、検出されるスポットの位置や輝度に関するフレーム毎のデータからも、金属酸化物膜の結晶性に関する情報を得ることができる。

［０１１４］

ｓａｍｐｌｅ　Ａ１のフレーム毎の格子面間隔（ｄ）の変化を図１１Ａに示す。図１１Ａにおいて、横軸にフレーム番号（Ｆｒａｍｅ　Ｎｏ．）を示し、縦軸に格子面間隔（ｄ［ｎｍ］）を示す。また、図１１Ａに示す各点は、スポットの強度（Ｉｎｔｅｎｓｉｔｙ）が高いほど濃い色で、強度が低いほど薄い色で示している。

［０１１５］

また、ｓａｍｐｌｅ　Ａ１のフレーム毎のスポットの角度（Ａｎｇｌｅ）の変化を図１１Ｂに示す。図１１Ｂにおいて、横軸にフレーム番号（Ｆｒａｍｅ　Ｎｏ．）を示し、縦軸にスポットの角度（Ａｎｇｌｅ［°］）を示す。また、図１１Ｂに示す各点は、スポットの強度（Ｉｎｔｅｎｓｉｔｙ）が高いほど濃い色で、強度が低いほど薄い色で示している。

［０１１６］

図１１Ａに示すように、ｓａｍｐｌｅ　Ａ１では、格子面間隔（ｄ）が０．２５ｎｍ乃至０．３５ｎｍの領域に第１のスポットが、０．１５ｎｍ乃至０．２０ｎｍの領域に第２のスポットが、それぞれ観察された。図１１Ａで示すように、第１のスポットは測定位置によらず連続して観測されているのに対し、第２のスポットは離散的に観測されている。第２のスポットが観測される位置は、他の位置よりも比較的結晶性の高い領域であると推察される。このことから、金属酸化物膜は、均一な結晶性を有するのではなく、結晶性の比較的高い領域と、結晶性の比較的低い領域とが混在していることが確認できる。

［０１１７］

図１１Ｂに示すように、ｓａｍｐｌｅ　Ａ１では、スポットの角度依存性はほとんどないことが分かる。このことから、ｓａｍｐｌｅ　Ａ１に含まれる結晶領域のほとんどは、配向性を有さずにランダムに配向していることが推察される。

［０１１８］

続いて、図１２Ａにｓａｍｐｌｅ　Ａ６のフレーム毎の格子面間隔（ｄ）の変化を、図１２Ｂにフレーム毎のスポットの角度（Ａｎｇｌｅ）の変化を、それぞれ示す。

［０１１９］

図１２Ａでは、格子面間隔（ｄ）が０．１５ｎｍ乃至０．２０ｎｍの領域に見られる第２のスポットが、位置（フレーム）によらず連続して観測されていることから、ｓａｍｐｌｅ　Ａ１に比べてｓａｍｐｌｅ　Ａ６は結晶性が極めて高いことが確認できる。また、格子面間隔（ｄ）が０．２５ｎｍ乃至０．３５ｎｍの領域に見られる第１のスポットに着目すると、ばらつきの小さい領域（例えば０フレームから２００フレームの範囲）と、ばらつきの大きな領域（例えば３００フレームから５００フレームの範囲）とが交互に出現することが確認できる。また第１のスポットのばらつきが小さい領域では、第２のスポットのばらつきも小さい傾向がある。このことから、金属酸化物膜中に、サイズの大きな結晶領域が存在していることが推察される。

［０１２０］

さらに、図１２Ｂによれば、図１２Ａで第１のスポットのばらつきが小さい領域では、約３０度間隔でスポットが離散的に観測されていることが確認できる。また、図９Ａを見ると、６個の第１のスポットと、その外側に６個の第２のスポットとが、それぞれ正六角形の頂点に位置するように観測され、６回対称性を有する電子線回折パターンを示していることが分かる。このことから、図１２Ａ、図１２Ｂにおける第１のスポットのばらつきが小さい領域では、６回対称性を有する単一の結晶領域が観測されていることが推察される。

［０１２１］
このように、本発明の一態様の評価方法によれば、金属酸化物膜の結晶性を精度よく評価、比較することができる。

［０１２２］
［Ｘ線回折］
次に、ｓａｍｐｌｅ　Ａ１乃至ｓａｍｐｌｅ　Ａ６のＸ線回折（ＸＲＤ）分析を行った。

［０１２３］
ＸＲＤ分析は、ｏｕｔ－ｏｆ－ｐｌａｎｅ法の一種であるＧＩＸＲＤ（Ｇｒａｚｉｎｇ－Ｉｎｃｉｄｅｎｃｅ　ＸＲＤ）法を用いた。ＧＩＸＲＤ法は、薄膜法またはＳｅｅｍａｎｎ－Ｂｏｈｌｉｎ法ともいう。ＧＩＸＲＤ法は、Ｘ線の入射角をごく浅い角度に固定し、Ｘ線源に対向して設けられる検出器の角度を変化させてＸ線回折強度を測定する方法である。本実施の形態では、入射角を０．７０度とした。また、Ｘ線源として波長０．１５４１８ｎｍのＣｕＫα 線を用い、走査範囲を２θ＝１５度乃至７０度、ステップ幅を０．０１度とした。

［０１２４］
ｓａｍｐｌｅ　Ａ１乃至ｓａｍｐｌｅ　Ａ３のＸＲＤ測定結果を、図１３Ａ乃至図１３Ｃに示す。またｓａｍｐｌｅ　Ａ４乃至ｓａｍｐｌｅ　Ａ６のＸＲＤ測定結果を、図１４Ａ乃至図１４Ｃに示す。

［０１２５］
図１３Ａ乃至図１４Ｃにおいて、横軸は２θを示し、縦軸は強度（Ｉｎｔｅｎｓｉｔｙ）を示す。また、図１３Ａ乃至図１４Ｃでは、補助線として２θ＝３３度（ｄｅｇ．と表記）、及び２θ＝５５度を破線で示している。

［０１２６］
図１３Ａ乃至図１４Ｃに示すように、いずれの試料においても２θ＝３３度付近、及び２θ＝５５度付近に回折ピークが観察された。２θ＝３３度付近の回折ピークは、格子面間隔（ｄ）が約０．２７ｎｍに相当し、前述の電子線回折における第１のピークに対応するものと考えられる。また、２θ＝５５度付近にもピークが観察されている。なお、２θ＝５１度付近に観察されるシャープなピークは、基板であるシリコンウェハからの回折に起因するピークである。

［０１２７］
各試料で観察された２θ＝３３度付近の回折ピークについて、ローレンツ関数のフィッティングを用いて、回折ピークの頂点の角度（２θ）を算出した。ローレンツ関数のフィッティングには、最小二乗法を用いた。図１３Ａ、図１３Ｂ、図１３Ｃの拡大図を、図１５Ａ、図１５Ｂ、図１５Ｃに示す。また、図１４Ａ、図１４Ｂ、図１４Ｃの拡大図を、図１６Ａ、図１６Ｂ、図１６Ｃに示す。また、各試料における回折ピークの頂点の角度（２θ）を、図１７に示す。図１７において、横軸に金属酸化物膜の成膜時の酸素流量比（O_2／（Ａｒ＋O_2）［％］）を示し、縦軸に回折ピークの頂点の角度（２θ［ｄｅｇ．］）を示す。また、図１７では、基板温度を室温とした試料（Ｔｓｕｂ＝ＲＴと表記）を丸印で、基板温度を１００℃とした試料（Ｔｓｕｂ＝１００℃と表記）を三角印で、それぞれプロットしている。

［０１２８］
図１５Ａ乃至図１６Ｃ、及び図１７に示すように、金属酸化物膜の成膜時の酸素流量比が高くなると、回折ピークの頂点の２θが小さくなる傾向となった。また、金属酸化物膜の成膜時の基板温

度が高くなると、回折ピークの頂点の２θが小さくなる傾向となった。これは、金属酸化物膜の結晶性が高まることにより、２θ＝３１度近傍の回折ピーク（ＩｎＧａＺｎＯ$_4$結晶における（００９）面のピークに相当）の強度が高くなることによるものと推察される。

［０１２９］

図１７に示すように、ＸＲＤ分析によって、金属酸化物膜の結晶性に関する情報を得ることができる。したがって、上記電子線回折を用いた評価方法と、ここで例示したＸＲＤを用いた評価方法とを組み合わせ、多角的に分析することで、金属酸化物膜の結晶性に関してより詳細な情報を得ることができる。

［０１３０］

［ｎｃ膜の安定性］

本項では、極微小な結晶領域を有する金属酸化物膜（以下、ｎｃ膜ともいう）の安定性について、第一原理計算の結果を用いて説明する。

［０１３１］

なお、ｎｃ膜の安定性を説明するため、２つの計算モデル（計算モデル１Ａおよび計算モデル２Ａ）を用意した。計算モデル１Ａは、結晶領域を有する計算モデルであり、ｎｃ膜を模した計算モデルである。また、計算モデル２Ａは、結晶領域を有さない計算モデルであり、非晶質膜を模した計算モデルである。なお、結晶領域については後述する。

［０１３２］

〔計算モデル１Ａの作成方法〕

以下では、計算モデル１Ａの作成方法について説明する。

［０１３３］

はじめに、Ｉｎ：Ｇａ：Ｚｎ：Ｏ＝１：１：１：４［原子数比］のＩｎ－Ｇａ－Ｚｎ酸化物の結晶構造から、六角柱状の領域（結晶領域と呼ぶ。）を切り出し、当該結晶領域を計算モデルの中心に配置する。なお、当該結晶領域に配置される原子の数は８７個である。以降では、結晶領域に位置する原子とは、結晶領域に配置される８７個の原子のことである。また、結晶領域に位置する原子のいずれか一または複数は、以降に行う計算によって、結晶領域の外周部に移動する場合がある。

［０１３４］

次に、上記結晶領域の外周部に、複数のＩｎ原子、複数のＧａ原子、複数のＺｎ原子、および複数のＯ原子をランダムに配置する。なお、当該外周部に配置する、Ｉｎ原子の数、Ｇａ原子の数、Ｚｎ原子の数、およびＯ原子の数、ならびに、当該外周部のサイズは、上記結晶領域および当該外周部に配置した原子の原子数比がＩｎ：Ｇａ：Ｚｎ：Ｏ＝１：１：１：４となり、かつ、計算モデルの密度が６．１ｇ／ｃｍ^{3}となるように、調整している。なお、当該外周部に配置した原子の数は２９１個である。よって、計算モデルに含まれる原子の数は３７８個である。また、当該外周部に配置した原子のいずれか一または複数は、以降に行う計算によって、結晶領域に移動する場合がある。

［０１３５］

次に、上記結晶領域に位置する原子の座標を固定して、上記外周部を融解するための計算を行う。具体的には、温度を３５００Ｋ、時間刻み幅を１ｆｓ、ステップ数を６０００回に設定する。以降では、温度、時間刻み幅、およびステップ数を設定して行う計算を、第一原理分子動力学計算、または量子分子動力学計算と呼ぶ場合がある。

［０１３６］

計算には、第一原理計算ソフトウェアＶＡＳＰ（Ｔｈｅ　Ｖｉｅｎｎａ　Ａｂ　ｉｎｉｔｉｏ　ｓｉｍｕｌａｔｉｏｎ　ｐａｃｋａｇｅ）を用いた。上記設定した条件以外の計算条件を表２に示す。上記第一原理分子動力学計算では、計算条件を表２に示す条件１に設定する。

［０１３７］

［表２］

	条件1	条件2	条件3
ソフトウェア	VASP		
基底関数	平面波		
汎関数	GGA／PBE		
擬ポテンシャル	PAW		
電子数	中性		
酸素の擬ポテンシャル	O_s	O	O
カットオフエネルギー	280 eV	400 eV	400 eV
k点のグリッド	Γ点のみ	Γ点のみ	2×2×2

［０１３８］

電子状態擬ポテンシャルにはＰｒｏｊｅｃｔｏｒ　Ａｕｇｍｅｎｔｅｄ　Ｗａｖｅ（ＰＡＷ）法により生成されたポテンシャルを、汎関数にはＧＧＡ／ＰＢＥ（Ｇｅｎｅｒａｌｉｚｅｄ－Ｇｒａｄｉｅｎｔ－Ａｐｐｒｏｘｉｍａｔｉｏｎ／Ｐｅｒｄｅｗ－Ｂｕｒｋｅ－Ｅｒｎｚｅｒｈｏｆ）を用いた。

［０１３９］

なお、本実施の形態で行われる、第一原理分子動力学計算、および後述する、計算モデルの構造を最適化するための計算（最適化計算ともいう。）において、Ｉｎ、Ｇａ、およびＺｎのポテンシャルでは、３ｄ状態または４ｄ状態は、価電子帯として考慮されていない。また、計算モデルの格子ベクトル（軸の長さ、および軸間の角度）は固定されている。つまり、第一原理分子動力学計算は、粒子数（Ｎ）、体積（Ｖ）、温度（Ｔ）が一定の条件（ＮＶＴアンサンブル）で行われる。また、第一原理分子動力学計算では、温度を制御するための手法として、Ｎｏｓｅ－Ｈｏｏｖｅｒ　ｔｈｅｒｍｏｓｔａｔが用いられる。

［０１４０］

次に、融解した外周部を温度５００Ｋまで冷却するための計算を行う。なお、冷却速度は、５００Ｋ／ｐｓとする。具体的には、まず、結晶領域に位置する原子の座標を固定し、時間刻み幅を１ｆｓ、ステップ数を１０００回、その他の計算条件を表２に示す条件１に設定する。そして、上記外周部を融解するための計算で得られる計算モデルに対して、温度を３５００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を３０００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を２５００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を２０００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を１５００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を１０００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を５００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。以上により、外周部を冷却するための計算が完了する。

［０１４１］
次に、冷却した外周部の構造を緩和するための計算を行う。具体的には、外周部を冷却するための計算で得られる計算モデルに対して、結晶領域に位置する原子の座標を固定し、温度を３００Ｋ、時間刻み幅を１ｆｓ、ステップ数を５０００回、その他の計算条件を表２に示す条件１に設定し、第一原理分子動力学計算を行う。
［０１４２］
次に、計算条件を表２に示す条件２に設定し、外周部の構造を緩和するための計算で得られる計算モデルに対して、結晶領域に位置する原子の座標を固定し、外周部の構造を最適化するための計算を行う。その後、当該計算後に得られる計算モデルに対して、外周部に位置する原子の座標と、結晶領域中心に存在する１つのＩｎ原子の座標とを固定して、結晶領域の構造を最適化するための計算を行う。その後、当該計算後に得られる計算モデルに対して、当該Ｉｎ原子のみ座標を固定して、計算モデル全体（結晶領域および外周部）の構造を最適化するための計算を行う。その後、計算条件を表２に示す条件３に設定し、当該計算後に得られる計算モデルに対して、当該Ｉｎ原子のみ座標を固定して、計算モデル全体の構造を最適化するための計算を行う。
［０１４３］
以上の方法により、計算モデル１Ａを作成する。作成した計算モデル１Ａを図１８Ａ乃至図１８Ｄに示す。図１８Ａおよび図１８Ｃは、計算モデル１Ａの全体像を示す図である。また、図１８Ｂおよび図１８Ｄは、計算モデル１Ａの結晶領域を示す図である。また、図１８Ａおよび図１８Ｂは、六角柱状の領域の側面から見た図であり、図１８Ｃおよび図１８Ｄは、六角柱状の領域の上面から見た図である。
［０１４４］
〔計算モデル２Ａの作成方法〕
以下では、計算モデル２Ａの作成方法について説明する。なお、計算モデル２Ａを作成するための計算は、表２に示す計算条件を用いる。
［０１４５］
はじめに、計算モデル１Ａの結晶領域および外周部を融解するための計算を行う。具体的には、計算モデル１Ａを用意し、全原子の座標を固定せずに、温度を３５００Ｋ、時間刻み幅を１ｆｓ、ステップ数を６０００回、その他の計算条件を表２に示す条件１に設定して、第一原理分子動力学計算を行う。
［０１４６］
次に、融解した計算モデル全体を温度５００Ｋまで冷却するための計算を行う。なお、冷却速度は、５００Ｋ／ｐｓとする。具体的には、まず、全原子の座標を固定せずに、時間刻み幅を１ｆｓ、ステップ数を１０００回、その他の計算条件を表２に示す条件１に設定する。そして、結晶領域および外周部を融解するための計算で得られる計算モデルに対して、温度を３５００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を３０００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を２５００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を２０００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を１５００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を１０００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算

を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を５００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。以上により、計算モデル全体を冷却するための計算が完了する。

［０１４７］

次に、冷却した計算モデル全体の構造を緩和するための計算を行う。具体的には、計算モデル全体を冷却するための計算で得られる計算モデルに対して、全原子の座標を固定せずに、温度を３００Ｋ、時間刻み幅を１ｆｓ、ステップ数を５０００回、その他の計算条件を表２に示す条件１に設定し、第一原理分子動力学計算を行う。

［０１４８］

次に、計算条件を表２に示す条件２に設定し、計算モデル全体を緩和するための計算で得られる計算モデルに対して、全原子の座標を固定せずに、計算モデル全体の構造を最適化するための計算を行う。その後、計算条件を表２に示す条件３に設定し、当該計算後に得られる計算モデルに対して、全原子の座標を固定せずに、計算モデル全体の構造を最適化するための計算を行う。

［０１４９］

以上の方法で、計算モデル２Ａを作成する。計算モデル２Ａの全体像を、図１８Ｅに示す。

［０１５０］

上記方法で作成した計算モデル１Ａおよび計算モデル２Ａのそれぞれに対して、全エネルギーを算出し、比較した。具体的には、計算条件を表２に示す条件３に設定して、計算モデル１Ａに対しては、結晶領域中心に存在する１つのＩｎ原子のみ座標を固定して、１点計算を行い、計算モデル２Ａに対しては、全原子の座標を固定せずに、１点計算を行う。当該計算で算出される全エネルギーを比較する。

［０１５１］

上記計算の結果、計算モデル１Ａの全エネルギーの値は、計算モデル２Ａの全エネルギーの値よりも小さく、具体的には、６．８３ｅＶ小さかった。したがって、結晶領域を有する計算モデル１Ａは、結晶領域を有さない計算モデル２Ａよりも安定であることが分かる。すなわち、ｎｃ膜は、結晶領域を有することで、安定化していることが示唆される。

［０１５２］

次に、計算モデル１Ａと比較するための、計算モデル３Ａを用意する。なお、計算モデル３Ａの構造は、単結晶構造である。

［０１５３］

はじめに、ＩｎＧａＺｎＯ$_4$の単結晶構造（空間群は、Ｒ－３ｍである。）を有し、原子数比がＩｎ：Ｇａ：Ｚｎ：Ｏ＝１：１：１：４であり、密度が６．３６ｇ／ｃｍ^{3}であり、１１２原子を含む計算モデルを用意する。次に、ｋ点のグリッドを２×２×３に設定し、その他の計算条件を表２に示す条件３に設定し、当該計算モデルの原子の座標を最適化するための計算を行う。以上により、計算モデル３Ａを作成する。

［０１５４］

上記方法で作成した計算モデル３Ａに対して、全エネルギーを算出する。具体的には、ｋ点のグリッドを２×２×３に設定し、その他の計算条件を表２に示す条件３に設定して、１点計算を行う。当該計算で算出される全エネルギーを３．３７５（＝３７８／１１２）倍した値を、単結晶構造の計算モデルの全エネルギーの値とする。

［０１５５］

上記計算の結果、単結晶構造の計算モデルの全エネルギーの値は、計算モデル１Ａの全エネルギーの値よりも小さく、具体的には、５４．８８ｅＶ小さかった。つまり、膜中の結晶性が向上することで、膜は、エネルギー的に安定になることがわかる。

［０１５６］

以上より、計算モデル１Ａは、単結晶構造の計算モデルよりもエネルギーは高いものの、計算モデル２Ａよりも安定であることから、結晶領域の存在が、ｎｃ膜の安定化に寄与していることが示唆される。

［０１５７］

以上が、ｎｃ膜の安定性についての説明である。

［０１５８］

［ｎｃ膜の熱安定性］

本項では、ｎｃ膜の熱安定性について、第一原理計算の結果を用いて説明する。なお、ｎｃ膜の熱安定性は、後述する内部エネルギーを用いて評価する。

［０１５９］

ここで、内部エネルギーについて説明する。本明細書では、内部エネルギーＵを、下式を用いて算出する。

［０１６０］

［数２］

$$U=\sum_I \frac{1}{2}M_I v_I^2+\sum_I\sum_{J>I}\frac{Z_I Z_J}{r_{IJ}}+\langle\Psi|\sum_i\left(-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla_i^2\right)+\sum_i\sum_{j>i}\frac{e^2}{r_{ij}}|\Psi\rangle+\langle\Psi|\sum_i\sum_I\frac{eZ_I}{r_{iI}}|\Psi\rangle$$

［０１６１］

ここで、M_IはＩ番目（Ｉは自然数である。）の原子核の質量であり、ｍは電子の質量である。また、v_IはＩ番目の原子核の速度である。つまり、上式の右辺の第１項は、原子核の運動エネルギーを表し、上式の右辺の第３項は、電子の運動エネルギーを表す。

［０１６２］

また、Z_IはＩ番目の原子核の電荷であり、ｅは電子の電荷である。また、r_{IJ}は、Ｉ番目の原子核とＪ番目（Ｊは、Ｉよりも大きい整数である。）の原子核との距離であり、r_{ij}は、ｉ番目（ｉは自然数である。）の電子とｊ番目（ｊは、ｉよりも大きい整数である。）の電子との距離である。つまり、上式の右辺の第２項は、原子核と原子核の相互作用に関するポテンシャルエネルギーであり、上式の右辺の第４項は、電子と電子の相互作用に関するポテンシャルエネルギーであり、上式の右辺の第５項は、原子核と電子の相互作用に関するポテンシャルエネルギーである。

［０１６３］

以上より、内部エネルギーＵは、運動エネルギーとポテンシャルエネルギーとの和として算出される。

［０１６４］

なお、平衡状態における相の安定性などは、ヘルムホルツの自由エネルギーＦによって記述される。ここで、ヘルムホルツの自由エネルギーＦは、内部エネルギーＵから、温度Ｔとエントロピーｓの積を引いた値（Ｆ＝Ｕ－ＴＳ）である。しかしながら、エントロピーＳの評価は困難なため、本明細書では、内部エネルギーＵを用いて、熱力学的な相安定性について検証を行う。

［０１６５］
以上が、内部エネルギーの説明である。次に、ｎｃ膜の熱安定性を評価するための、具体的な方法を説明する。

［０１６６］
上述の計算モデル１Ａおよび計算モデル２Ａのそれぞれに対して、温度を３００Ｋ、６７３Ｋ、１０００Ｋ、１５００Ｋ、または２０００Ｋに設定して、第一原理分子動力学計算を行う。なお、計算モデル１Ａを用いる場合、結晶領域中心に存在する１つのＩｎ原子の座標を固定して当該第一原理分子動力学計算を行う。また、計算モデル２Ａを用いる場合、全原子の座標を固定せずに当該第一原理分子動力学計算を行う。また、当該第一原理分子動力学計算では、時間刻み幅を１ｆｓ、ステップ数を１００００回、その他の計算条件を、表２に示す条件２に設定する。

［０１６７］
次に、上述の計算モデル１Ａおよび計算モデル２Ａのそれぞれに対して、各温度に設定して第一原理分子動力学計算が行われた後の計算モデル（計１０種）のそれぞれに対して、内部エネルギーを算出する。具体的には、ステップが９００１回から１００００回までの内部エネルギーの平均値を算出する。なお、計算モデル１Ａに対して、温度を３００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行うことで得られる内部エネルギーの平均値を基準（０．０ｅＶ）としたときの、内部エネルギーの平均値を、平均エネルギーと呼ぶ。

［０１６８］
温度と、上記方法で算出された平均エネルギーの関係を図２０Ａに示す。図２０Ａでは、横軸は温度［Ｋ］であり、縦軸は平均エネルギー［ｅＶ］である。また、図２０Ａの黒菱形で示すプロットは、計算モデル１Ａを用いた場合の、平均エネルギーのプロットであり、白四角のプロットは、計算モデル２Ａを用いた場合の、平均エネルギーのプロットである。

［０１６９］
次に、計算モデル１Ａに対して、各温度に設定して第一原理分子動力学計算を行うことで得られる計算モデル（計５種）のそれぞれに対して、計算条件を表２に示す条件２に設定して、計算モデルの構造を最適化するための計算を行う。なお、当該最適化計算を、結晶領域中心に存在する１つのＩｎ原子の座標を固定して行う。その後、当該最適化計算を行うことで得られる計算モデル（計５種）のそれぞれに対して、計算条件を表２に示す条件３に設定して、計算モデルの構造を最適化するための計算を行う。

［０１７０］
上記計算により得られる計算モデル（計５種）の一部を図１９Ａ乃至図１９Ｅに示す。なお、図１９Ａ乃至図１９Ｅでは、計算モデルのうち、結晶領域の外周部に原子を配置する前に、結晶領域に配置された８７個の原子の配列を示す。図１９Ａは、温度が３００Ｋに設定された第一原理分子動力学計算、および最適化計算を行うことで得られる計算モデルであり、図１９Ｂは、温度が６７３Ｋに設定された第一原理分子動力学計算、および最適化計算を行うことで得られる計算モデルであり、図１９Ｃは、温度が１０００Ｋに設定された第一原理分子動力学計算、および最適化計算を行うことで得られる計算モデルであり、図１９Ｄは、温度が１５００Ｋに設定された第一原理分子動力学計算、および最適化計算を行うことで得られる計算モデルであり、図１９Ｅは、温度が２０００Ｋに設定された第一原理分子動力学計算、および最適化計算を行うことで得られる計算モデルである。

［０１７１］
図１９Ａ乃至図１９Ｄより、温度が１５００Ｋ以下に設定された第一原理分子動力学計算、および最適化計算を行うことで得られる計算モデルでは、結晶領域の格子配列が保たれている。また、図１９Ｅより、温度が２０００Ｋに設定された第一原理分子動力学計算、および最適化計算を行うことで得られる計算モデルでは、結晶構造が壊れている。また、図１９Ｄより、温度が１５００Ｋに設定された第一原理分子動力学計算、および最適化計算を行うことで得られる計算モデルでは、結晶領域の格子配列は保たれているものの、温度が１０００Ｋに設定された第一原理分子動力学計算、および最適化計算を行うことで得られる計算モデルと比較すると原子配列の乱れが大きく、結晶構造が崩れ始める兆候が見えている。

［０１７２］
ここで、計算モデル１Ａの平均エネルギーと、計算モデル２Ａの平均エネルギーとの差を、各温度で算出し、計算モデル１Ａと計算モデル２Ａの熱安定性を比較する。なお、温度と、計算モデル１Ａおよび計算モデル２Ａの平均エネルギーの関係は、図２０Ａに示すとおりである。

［０１７３］
温度と、計算モデル１Ａの平均エネルギーから、計算モデル２Ａの平均エネルギーを引いた値（平均エネルギーの差ともいう。）との関係を図２０Ｂに示す。図２０Ｂでは、横軸は温度［Ｋ］であり、縦軸は平均エネルギーの差［ｅＶ］である。

［０１７４］
図２０Ｂより、温度が２０００Ｋに設定された場合、平均エネルギーの差はゼロに近く、計算モデル１Ａを用いた場合の平均エネルギーと、計算モデル２Ａを用いた場合の平均エネルギーとはほぼ等しいことがわかる。一方、温度が１５００Ｋ以下に設定された場合、いずれの温度でも、平均エネルギーの差は負の値であり、計算モデル１Ａを用いた場合の平均エネルギーは、計算モデル２Ａを用いた場合の平均エネルギーよりも、小さいことがわかる。つまり、結晶領域の格子配列が保たれる温度では、結晶領域を有する計算モデルは、結晶領域を有さない計算モデルよりも熱に対して安定であると推定される。したがって、高温域を除き、結晶領域が存在することで、膜の熱安定性が向上することが示唆される。

［０１７５］
以上が、ｎｃ膜の熱安定性についての説明である。

［０１７６］
［ｎｃ膜におけるH_Oの生成しやすさ］
本項では、ｎｃ膜における欠陥の生成しやすさについて、第一原理計算の結果を用いて説明する。具体的には、酸素欠損に水素が入った欠陥（以下、V_OHまたはH_Oと呼ぶ場合がある。）の生成エネルギーを、第一原理計算より算出する。

［０１７７］
H_Oは、キャリアとなる電子を生成する場合がある。このため、酸化物半導体中のチャネル形成領域にH_Oが生成されると、トランジスタはノーマリーオン特性となりやすいなど、トランジスタの電気特性が変動してしまう。したがって、酸化物半導体中のチャネル形成領域では、H_Oの生成が抑制されることが好ましい。

［０１７８］
ここで、欠陥の生成エネルギーについて説明する。本明細書では、欠陥の生成エネルギーを、下

式を用いて算出する。欠陥の生成エネルギーが小さいほど、当該欠陥は生成しやすいといえる。

［０１７９］

［数３］

$$E_{\mathrm{form}}(\mathrm{defect}) = E(\mathrm{defect}) - \left\{E(\mathrm{no\ \ defect}) + \sum_{\mathrm{X}} n_{\mathrm{X}}\mu(\mathrm{X})\right\}$$

［０１８０］

ここで、Ｅ$_{\mathrm{form}}$（ｄｅｆｅｃｔ）は欠陥（ｄｅｆｅｃｔ）の生成エネルギーであり、Ｅ（ｄｅｆｅｃｔ）は欠陥を１つ含む計算モデルの全エネルギーであり、Ｅ（ｎｏ　ｄｅｆｅｃｔ）は欠陥を含まない計算モデルの全エネルギーであり、原子Ｘは欠陥を生成することで増減した原子であり、μ（Ｘ）は原子Ｘの化学ポテンシャルであり、ｎ$_{\mathrm{X}}$は原子Ｘの増減数である。例えば、欠陥がＨ$_{\mathrm{O}}$である場合、Ｘは酸素原子（Ｏ）または水素原子（Ｈ）であり、ｎ$_{\mathrm{O}}$は－１であり、ｎ$_{\mathrm{H}}$は＋１である。

［０１８１］

また、酸素原子の化学ポテンシャルμ（Ｏ）および水素原子の化学ポテンシャルμ（Ｈ）は、下式を用いて算出する。

［０１８２］

［数４］

$$\mu(\mathrm{O}) = E(\mathrm{O_2})/2$$
$$\mu(\mathrm{H}) = E(\mathrm{H_2O})/2 - E(\mathrm{O_2})/4$$

［０１８３］

ここで、Ｅ（Ｏ$_2$）は、酸素分子（Ｏ$_2$）の全エネルギーであり、Ｅ（Ｈ$_2$Ｏ）は、水分子（Ｈ$_2$Ｏ）の全エネルギーである。

［０１８４］

なお、Ｅ（Ｏ$_2$）は、１つのＯ$_2$分子を１ｎｍ^{3}の格子内に配置し、計算条件を表２に示す条件２に設定して、Ｏ$_2$分子の構造を最適化するための計算を行い、その後、当該計算後に得られる計算モデルに対して１点計算を行うことで、算出される。また、Ｅ（Ｈ$_2$Ｏ）は、１つのＨ$_2$Ｏ分子を１ｎｍ^{3}の格子内に配置し、計算条件を表２に示す条件２に設定して、Ｈ$_2$Ｏ分子の構造を最適化するための計算を行い、その後、当該計算後に得られる計算モデルに対して１点計算を行うことで、算出される。

［０１８５］

以上が、欠陥の生成エネルギーに関する説明である。

［０１８６］

欠陥の生成エネルギーを算出するために、計算モデル３Ａを用意した。以下では、計算モデル３Ａの作成方法について説明する。なお、計算モデル３Ａを作成するための計算は、表２に示す計算条件を用いる。

［０１８７］

はじめに、計算モデル１Ａを用意し、計算モデル１Ａの外周部の構造を緩和するための計算を行う。具体的には、計算モデル１Ａを用意し、結晶領域に位置する原子の座標を固定して、温度を１０００Ｋ、時間刻み幅を１ｆｓ、ステップ数を１００００回、その他の計算条件を表２に示す条件

２に設定して、第一原理分子動力学計算を行う。

［０１８８］

次に、計算条件を表２に示す条件２に設定したまま、外周部の構造を緩和するための計算で得られる計算モデルに対して、結晶領域に位置する原子の座標を固定して、外周部の構造を最適化するための計算を行う。その後、当該計算後に得られる計算モデルに対して、外周部に位置する原子の座標と、結晶領域中心に存在する１つのＩｎ原子の座標とを固定して、結晶領域の構造を最適化するための計算を行う。その後、当該計算後に得られる計算モデルに対して、結晶領域中心に存在する１つのＩｎ原子の座標を固定して、計算モデル全体の構造を最適化するための計算を行う。その後、計算条件を表２に示す条件３に設定し、当該計算後に得られる計算モデルに対して、結晶領域中心に存在する１つのＩｎ原子の座標を固定して、計算モデル全体の構造を最適化するための計算を行う。

［０１８９］

以上の方法で、計算モデル３Ａを作成する。

［０１９０］

上記方法で作成した計算モデル３Ａを用いて、H_Oの生成エネルギーを算出する。具体的には、計算モデル３Ａ中の１つの酸素原子を１つの水素原子に置換することで、H_Oを１つ含む計算モデルを用意する。なお、計算モデル３Ａ中の酸素原子の数は２１６個であるため、H_Oを１つ含む計算モデルは２１６個用意される。なお、H_Oを含まない計算モデルは、計算モデル３Ａそのものである。

［０１９１］

H_Oを１つ含む計算モデルおよびH_Oを含まない計算モデルのそれぞれに対して、計算条件を表２に示す条件３に設定して、計算モデル全体の構造を最適化するための計算を行う。当該計算後に得られる、H_Oを１つ含む計算モデルの全エネルギーをＥ（ｄｅｆｅｃｔ）とし、当該計算後に得られる、H_Oを含まない計算モデルの全エネルギーをＥ（ｎｏ　ｄｅｆｅｃｔ）とする。なお、H_Oを１つ含む計算モデルに対して当該計算を行うことで、H_Oが別の欠陥（例えば、酸素欠損および水素など）に変わる場合がある。

［０１９２］

上記の方法で算出した、Ｅ（ｄｅｆｅｃｔ）およびＥ（ｎｏ　ｄｅｆｅｃｔ）を用いて、H_Oの生成エネルギーを算出する。算出したH_Oの生成エネルギーを図２１に示す。図２１では、横軸は結晶領域中心に存在するＩｎ原子から、計算モデル全体の構造を最適化するための計算を行う前の計算モデルに配置したH_Oまでの距離（Ｄｉｓｔａｎｃｅ）［Å］であり、縦軸は、H_Oの生成エネルギー（Ｆｏｒｍａｔｉｏｎ　ｅｎｅｒｇｙ）［ｅＶ］である。なお、図２１に示す黒四角（■）のプロットは、結晶領域中のＩｎ近傍の領域（結晶のｃｏｒｅ領域ともいう。）に位置するH_Oの生成エネルギーであり、図２１に示す白四角（□）のプロットは、結晶領域中のｃｏｒｅ領域以外の領域（結晶のｓｈｅｌｌ領域ともいう。）に位置するH_Oの生成エネルギーであり、図２１に示すバツ印（×）のプロットは、外周部に位置するH_Oの生成エネルギーである。なお、結晶のｃｏｒｅ領域に位置する酸素の数は１２個であり、結晶のｓｈｅｌｌ領域に位置する酸素の数は３８個である。

［０１９３］

結晶のｃｏｒｅ領域に位置するH_O、結晶のｓｈｅｌｌ領域に位置するH_O、外周部に位置するＨ

$_O$の生成エネルギーの平均値は、それぞれ、２．７５ｅＶ、２．６０ｅＶ、２．１４ｅＶとなった。

［０１９４］

図２１より、結晶のｃｏｒｅ領域と比較して、結晶のｓｈｅｌｌ領域では、H_Oの生成エネルギーのバラツキが大きく、H_Oの生成エネルギーの値が小さいH_Oがあった。これは、結晶領域においても、結晶領域と外周部との界面に近い領域では、構造が歪んでいるためと推測される。

［０１９５］

また、結晶領域（結晶のｃｏｒｅ領域、および結晶のｓｈｅｌｌ領域）と比較して、外周部では、H_Oの生成エネルギーのバラツキが大きく、H_Oの生成エネルギーの値が小さいH_Oが多いことが分かる。これは、結晶領域と比較して、結晶性の低い外周部の方が結合長の揺らぎが大きく、金属原子との結合力が弱くなっている酸素原子が多いためと推測される。

［０１９６］

以上より、結晶領域はH_Oが生成されにくく、結晶性の低い領域（上記外周部）では、H_Oが生成されやすいことが示唆される。したがって、結晶領域が存在することにより、H_Oの生成が抑制される。よって、ｎｃ膜をトランジスタに用いることで、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。

［０１９７］

以上が、ｎｃ膜におけるH_Oの生成しやすさについての説明である。

［０１９８］

［金属酸化物の構造］

酸化物半導体（金属酸化物）は、単結晶酸化物半導体と、それ以外の非単結晶酸化物半導体と、に分けられる。非単結晶酸化物半導体としては、例えば、ＣＡＡＣ－ＯＳ（ｃ－ａｘｉｓ ａｌｉｇｎｅｄ ｃｒｙｓｔａｌｌｉｎｅ ｏｘｉｄｅ ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ）、多結晶酸化物半導体、ｎｃ－ＯＳ（ｎａｎｏｃｒｙｓｔａｌｌｉｎｅ ｏｘｉｄｅ ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ）、擬似非晶質酸化物半導体（ａ－ｌｉｋｅ ＯＳ：ａｍｏｒｐｈｏｕｓ－ｌｉｋｅ ｏｘｉｄｅ ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ）、および非晶質酸化物半導体などがある。

［０１９９］

ＣＡＡＣ－ＯＳは、ｃ軸配向性を有し、かつａ－ｂ面方向において複数のナノ結晶が連結し、歪みを有した結晶構造となっている。なお、歪みとは、複数のナノ結晶が連結する領域において、格子配列の揃った領域と、別の格子配列の揃った領域と、の間で格子配列の向きが変化している箇所を指す。

［０２００］

ナノ結晶は、六角形を基本とするが、正六角形状とは限らず、非正六角形状である場合がある。また、歪みにおいて、五角形、七角形などの格子配列を有する場合がある。なお、ＣＡＡＣ－ＯＳにおいて、歪み近傍においても、明確な結晶粒界（グレインバウンダリーともいう。）を確認することは難しい。すなわち、格子配列の歪みによって、結晶粒界の形成が抑制されていることがわかる。これは、ＣＡＡＣ－ＯＳが、ａ－ｂ面方向において酸素原子の配列が稠密でないことや、金属元素が置換することで原子間の結合距離が変化することなどによって、歪みを許容することができるためである。なお、明確な結晶粒界（グレインバウンダリー）が確認される結晶構造は、いわゆる多結晶（ｐｏｌｙｃｒｙｓｔａｌ）と呼ばれる。結晶粒界は、再結合中心となり、キャリアが捕獲されトランジスタのオン電流の低下、または電界効果移動度の低下を引き起こす可能性が高い。

よって、明確な結晶粒界が確認されないＣＡＡＣ－ＯＳは、トランジスタの半導体層に好適な結晶構造を有する結晶性の酸化物の一つである。なお、ＣＡＡＣ－ＯＳを構成するには、Ｚｎを有する構成が好ましい。例えば、Ｉｎ－Ｚｎ酸化物、及びＩｎ－Ｇａ－Ｚｎ酸化物は、Ｉｎ酸化物よりも結晶粒界の発生を抑制できるため好適である。

［０２０１］

また、ＣＡＡＣ－ＯＳは、インジウム、および酸素を有する層（以下、Ｉｎ層）と、元素Ｍ、亜鉛、および酸素を有する層（以下、（Ｍ，Ｚｎ）層）とが積層した、層状の結晶構造（層状構造ともいう）を有する傾向がある。なお、インジウムと元素Ｍは、互いに置換可能であり、（Ｍ，Ｚｎ）層の元素Ｍがインジウムと置換した場合、（Ｉｎ，Ｍ，Ｚｎ）層と表すこともできる。また、Ｉｎ層のインジウムが元素Ｍと置換した場合、（Ｉｎ，Ｍ）層と表すこともできる。

［０２０２］

ＣＡＡＣ－ＯＳは結晶性の高い金属酸化物である。一方、ＣＡＡＣ－ＯＳは、明確な結晶粒界を確認することが難しいため、結晶粒界に起因する電子移動度の低下が起こりにくいといえる。また、金属酸化物の結晶性は不純物の混入や欠陥の生成などによって低下する場合があるため、ＣＡＡＣ－ＯＳは不純物や欠陥（酸素欠損など）の少ない金属酸化物ともいえる。したがって、ＣＡＡＣ－ＯＳを有する金属酸化物は、物理的性質が安定する。そのため、ＣＡＡＣ－ＯＳを有する金属酸化物は熱に強く、信頼性が高い。

［０２０３］

ｎｃ－ＯＳは、微小な領域（例えば、１ｎｍ以上１０ｎｍ以下の領域、特に１ｎｍ以上３ｎｍ以下の領域）において原子配列に周期性を有する。また、ｎｃ－ＯＳは、異なるナノ結晶間で結晶方位に規則性が見られない。そのため、膜全体で配向性が見られない。したがって、ｎｃ－ＯＳは、分析方法によっては、ａ－ｌｉｋｅ　ＯＳや非晶質酸化物半導体と区別が付かない場合がある。

［０２０４］

なお、インジウムと、ガリウムと、亜鉛と、を有する金属酸化物の一種である、Ｉｎ－Ｇａ－Ｚｎ酸化物（以下、ＩＧＺＯ）は、上述のナノ結晶とすることで安定な構造をとる場合がある。特に、ＩＧＺＯは、大気中では結晶成長がし難い傾向があるため、大きな結晶（ここでは、数ｍｍの結晶、または数ｃｍの結晶）よりも小さな結晶（例えば、上述のナノ結晶）とする方が、構造的に安定となる場合がある。

［０２０５］

ａ－ｌｉｋｅ　ＯＳは、ｎｃ－ＯＳと非晶質酸化物半導体との間の構造を有する金属酸化物である。ａ－ｌｉｋｅ　ＯＳは、鬆または低密度領域を有する。すなわち、ａ－ｌｉｋｅ　ＯＳは、ｎｃ－ＯＳおよびＣＡＡＣ－ＯＳと比べて、結晶性が低い。

［０２０６］

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

［０２０７］

また、非単結晶酸化物半導体として、ＣＡＣ（Ｃｌｏｕｄ－Ａｌｉｇｎｅｄ　Ｃｏｍｐｏｓｉｔｅ）－ＯＳを用いてもよい。なお、ＣＡＣ－ＯＳは材料構成に関する。

［０２０８］

［金属酸化物の構成］

ＣＡＣ－ＯＳとは、材料の一部では導電性の機能と、材料の一部では絶縁性の機能とを有し、材料の全体では半導体としての機能を有する。なお、ＣＡＣ－ＯＳを、トランジスタの活性層に用いる場合、導電性の機能は、キャリアとなる電子（またはホール）を流す機能であり、絶縁性の機能は、キャリアとなる電子を流さない機能である。導電性の機能と、絶縁性の機能とを、それぞれ相補的に作用させることで、スイッチングさせる機能（Ｏｎ／Ｏｆｆさせる機能）をＣＡＣ－ＯＳに付与することができる。ＣＡＣ－ＯＳにおいて、それぞれの機能を分離させることで、双方の機能を最大限に高めることができる。

［０２０９］

また、ＣＡＣ－ＯＳは、導電性領域、及び絶縁性領域を有する。導電性領域は、上述の導電性の機能を有し、絶縁性領域は、上述の絶縁性の機能を有する。また、材料中において、導電性領域と、絶縁性領域とは、ナノ粒子レベルで分離している場合がある。また、導電性領域と、絶縁性領域とは、それぞれ材料中に偏在する場合がある。また、導電性領域は、周辺がぼけてクラウド状に連結して観察される場合がある。

［０２１０］

また、ＣＡＣ－ＯＳにおいて、導電性領域と、絶縁性領域とは、それぞれ０．５ｎｍ以上１０ｎｍ以下、好ましくは０．５ｎｍ以上３ｎｍ以下のサイズで材料中に分散している場合がある。

［０２１１］

また、ＣＡＣ－ＯＳは、異なるバンドギャップを有する成分により構成される。例えば、ＣＡＣ－ＯＳは、絶縁性領域に起因するワイドギャップを有する成分と、導電性領域に起因するナローギャップを有する成分と、により構成される。当該構成の場合、キャリアを流す際に、ナローギャップを有する成分において、主にキャリアが流れる。また、ナローギャップを有する成分が、ワイドギャップを有する成分に相補的に作用し、ナローギャップを有する成分に連動してワイドギャップを有する成分にもキャリアが流れる。このため、上記ＣＡＣ－ＯＳをトランジスタのチャネル形成領域に用いる場合、トランジスタのオン状態において高い電流駆動力、つまり大きなオン電流、及び高い電界効果移動度を得ることができる。

［０２１２］

すなわち、ＣＡＣ－ＯＳは、マトリックス複合材（ｍａｔｒｉｘ　ｃｏｍｐｏｓｉｔｅ）、または金属マトリックス複合材（ｍｅｔａｌ　ｍａｔｒｉｘ　ｃｏｍｐｏｓｉｔｅ）と呼称することもできる。

［０２１３］

また、酸化物半導体は、結晶構造に着目した場合、上記とは異なる分類となる場合がある。ここで、酸化物半導体における、結晶構造の分類について、図２２Ａを用いて説明を行う。図２２Ａは、酸化物半導体、代表的にはＩＧＺＯ（Ｉｎと、Ｇａと、Ｚｎと、を含む金属酸化物）の結晶構造の分類を説明する図である。

［０２１４］

図２２Ａに示すように、ＩＧＺＯは、大きく分けてＡｍｏｒｐｈｏｕｓ（無定形）と、Ｃｒｙｓｔａｌｌｉｎｅ（結晶性）と、Ｃｒｙｓｔａｌ（結晶）と、に分類される。また、Ａｍｏｒｐｈｏｕｓの中には、ｃｏｍｐｌｅｔｅｌｙ　ａｍｏｒｐｈｏｕｓが含まれる。また、Ｃｒｙｓｔａｌｌｉｎｅの中には、ＣＡＡＣ、ｎｃ、及びＣＡＣが含まれる。なお、Ｃｒｙｓｔａｌｌｉｎｅの分類

には、ｓｉｎｇｌｅ　ｃｒｙｓｔａｌ、ｐｏｌｙ　ｃｒｙｓｔａｌ、及びｃｏｍｐｌｅｔｅｌｙ　ａｍｏｒｐｈｏｕｓは除かれる。また、Ｃｒｙｓｔａｌの中には、ｓｉｎｇｌｅ　ｃｒｙｓｔａｌ、及びｐｏｌｙ　ｃｒｙｓｔａｌが含まれる。

［０２１５］

なお、図２２Ａに示す太枠内の構造は、Ａｍｏｒｐｈｏｕｓ（無定形）と、Ｃｒｙｓｔａｌ（結晶）との間の中間状態であり、新しい境界領域（Ｎｅｗ　ｃｒｙｓｔａｌｌｉｎｅ　ｐｈａｓｅ）に属する構造である。当該構造は、Ａｍｏｒｐｈｏｕｓと、Ｃｒｙｓｔａｌとの間の境界領域にある。すなわち、当該構造は、エネルギー的に不安定なＡｍｏｒｐｈｏｕｓ（無定形）や、Ｃｒｙｓｔａｌ（結晶）とは全く異なる構造と言い換えることができる。

［０２１６］

なお、膜または基板の結晶構造は、Ｘ線回折（ＸＲＤ：Ｘ－Ｒａｙ　Ｄｉｆｆｒａｃｔｉｏｎ）像を用いて評価することができる。ここで、石英ガラス、及びＣｒｙｓｔａｌｌｉｎｅに分類される結晶構造を有するＩＧＺＯ（結晶性ＩＧＺＯともいう。）のＸＲＤスペクトルを図２２Ｂ、図２２Ｃに示す。また、図２２Ｂが石英ガラス、図２２Ｃが結晶性ＩＧＺＯのＸＲＤスペクトルである。なお、図２２Ｃに示す結晶性ＩＧＺＯの組成は、Ｉｎ：Ｇａ：Ｚｎ＝４：２：３［原子数比］近傍である。また、図２２Ｃに示す結晶性ＩＧＺＯの厚さは、５００ｎｍである。

［０２１７］

図２２Ｂの矢印に示すように、石英ガラスは、ＸＲＤスペクトルのピークの形状がほぼ左右対称である。一方で、図２２Ｃの矢印に示すように、結晶性ＩＧＺＯは、ＸＲＤスペクトルのピークの形状が左右非対称である。ＸＲＤスペクトルのピークの形状が左右非対称であることは、結晶の存在を明示している。別言すると、ＸＲＤスペクトルのピークの形状で左右対称でないと、Ａｍｏｒｐｈｏｕｓであるとは言えない。なお、図２２Ｃには、２θ＝３１°、またはその近傍に結晶相（ＩＧＺＯ　ｃｒｙｓｔａｌ　ｐｈａｓｅ）を明記してある。ＸＲＤスペクトルのピークにおいて、形状が左右非対称となる由来は当該結晶相（微結晶）に起因すると推定される。

［０２１８］

具体的には、図２２Ｃに示す、結晶性ＩＧＺＯのＸＲＤスペクトルにおいて、２θ＝３４°またはその近傍にピークを有する。また、微結晶は、２θ＝３１°またはその近傍にピークを有する。Ｘ線回折像を用いて酸化物半導体膜を評価する場合、図２２Ｃに示すように、２θ＝３４°またはその近傍のピークよりも低角度側のスペクトルの幅が広くなる。これは、酸化物半導体膜中に、２θ＝３１°またはその近傍にピークを有する微結晶が内在することを示唆している。

［０２１９］

また、膜の結晶構造は、極微電子線回折法（ＮＢＥＤ：Ｎａｎｏ　Ｂｅａｍ　Ｅｌｅｃｔｒｏｎ　Ｄｉｆｆｒａｃｔｉｏｎ）によって観察される回折パターン（極微電子線回折パターンともいう。）にて評価することができる。基板温度を室温として成膜したＩＧＺＯ膜の回折パターンを図２２Ｄに示す。なお、図２２Ｄに示すＩＧＺＯ膜は、Ｉｎ：Ｇａ：Ｚｎ＝１：１：１［原子数比］である酸化物ターゲットを用いて、スパッタリング法によって成膜される。また、極微電子線回折法では、プローブ径を１ｎｍとして電子線回折が行われた。

［０２２０］

図２２Ｄに示すように、室温成膜したＩＧＺＯ膜の回折パターンでは、ハローではなく、スポット状のパターンが観察される。このため、室温成膜したＩＧＺＯ膜は、結晶状態でもなく、非晶質状

態でもない、中間状態であり、非晶質状態であると結論することはできないと推定される。

［０２２１］

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

［０２２２］

（実施の形態２）

本実施の形態では、本発明の一態様の金属酸化物膜を適用した半導体装置の構成例について説明する。以下では、トランジスタを例に挙げて説明する。

［０２２３］

［構成例１］

〔構成例１－１〕

図２３Ａは、トランジスタ３００の上面図であり、図２３Ｂは、図２３Ａに示す一点鎖線Ａ１－Ａ２における切断面の断面図に相当し、図２３Ｃは、図２３Ａに示す一点鎖線Ｂ１－Ｂ２における切断面の断面図に相当する。一点鎖線Ａ１－Ａ２方向はチャネル長方向、一点鎖線Ｂ１－Ｂ２方向はチャネル幅方向に相当する。なお、図２３Ａにおいて、トランジスタ３００の構成要素の一部（ゲート絶縁層等）を省略して図示している。また、トランジスタの上面図については、以降の図面においても図２３Ａと同様に、構成要素の一部を省略して図示する。

［０２２４］

トランジスタ３００は基板３０２上に設けられ、導電層３０４、絶縁層３０６、半導体層３０８、導電層３１２ａ、及び導電層３１２ｂ等を有する。絶縁層３０６は導電層３０４を覆って設けられている。半導体層３０８は島状の形状を有し、絶縁層３０６上に設けられている。導電層３１２ａ及び導電層３１２ｂは、それぞれ半導体層３０８の上面に接し、且つ、半導体層３０８上で離間して設けられている。また、絶縁層３０６、導電層３１２ａ、導電層３１２ｂ、及び半導体層３０８を覆って絶縁層３１４が設けられ、絶縁層３１４上に絶縁層３１６が設けられている。

［０２２５］

半導体層３０８に、実施の形態１で例示した金属酸化物膜を適用することができる。

［０２２６］

基板３０２の材質など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、シリコンや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、セラミック基板、石英基板、サファイア基板等を、基板３０２として用いてもよい。また、これらの基板上に半導体素子が設けられたものを、基板３０２として用いてもよい。

［０２２７］

また、基板３０２として、可撓性基板を用い、可撓性基板上に直接、半導体装置を形成してもよい。または、基板３０２と半導体装置の間に剥離層を設けてもよい。剥離層は、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３０２より分離し、他の基板に転載するために用いることができる。その際、半導体装置は耐熱性の劣る基板や可撓性の基板にも転載できる。

［０２２８］

導電層３０４は、ゲート電極として機能する。絶縁層３０６の一部は、ゲート絶縁層として機能する。導電層３１２ａは、ソース電極またはドレイン電極の一方として機能し、導電層３１２ｂは

他方として機能する。半導体層３０８の導電層３０４と重畳する領域はチャネル形成領域として機能する。トランジスタ３００は、半導体層３０８よりも被形成面側にゲート電極が設けられた、いわゆるボトムゲート型のトランジスタである。ここで、半導体層３０８の導電層３０４側とは反対側の面をバックチャネル側の面と呼ぶことがある。トランジスタ３００は、半導体層３０８のバックチャネル側と、ソース電極及びドレイン電極との間に保護層を有さない、いわゆるチャネルエッチ構造のトランジスタである。

［０２２９］

半導体層３０８は、２層以上の積層構造を有していてもよい。このとき、半導体層３０８を構成する半導体膜は、金属酸化物を含むことが好ましい。半導体層３０８を２層構造とする場合、バックチャネル側に位置する半導体膜は、導電層３０４側に位置する半導体膜よりも結晶性の高い膜であることが好ましい。これにより、導電層３１２ａ及び導電層３１２ｂの加工時に、半導体層３０８の一部がエッチングされ、消失してしまうことを抑制することができる。

［０２３０］

例えば半導体層３０８は、インジウムと、Ｍ（Ｍは、ガリウム、アルミニウム、シリコン、ホウ素、イットリウム、スズ、銅、バナジウム、ベリリウム、チタン、鉄、ニッケル、ゲルマニウム、ジルコニウム、モリブデン、ランタン、セリウム、ネオジム、ハフニウム、タンタル、タングステン、またはマグネシウムから選ばれた一種または複数種）と、亜鉛と、を有すると好ましい。特にＭはアルミニウム、ガリウム、イットリウム、またはスズとすることが好ましい。

［０２３１］

特に、半導体層３０８として、インジウム、ガリウム、及び亜鉛を含む酸化物を用いることが好ましい。

［０２３２］

導電層３１２ａ及び導電層３１２ｂは、それぞれ被形成面側から順に、導電層３１３ａと導電層３１３ｂとが積層された積層構造を有する。

［０２３３］

導電層３１３ｂは、銅、銀、金、またはアルミニウム等を含む、低抵抗な導電性材料を用いることが好ましい。特に、導電層３１３ｂが銅またはアルミニウムを含むことが好ましい。これにより、導電層３１２ａ及び導電層３１２ｂを極めて低抵抗なものとすることができる。

［０２３４］

また、導電層３１３ａは、導電層３１３ｂとは異なる導電性材料を用いることができる。例えば、導電層３１３ａは、チタン、タングステン、モリブデン、クロム、タンタル、亜鉛、インジウム、白金、またはルテニウム等を含む導電性材料を用いることが好ましい。

［０２３５］

このように、銅やアルミニウム等を含む導電層３１３ｂと半導体層３０８との間に、導電層３１３ａを設けることにより、導電層３１３ｂに含まれる金属元素が半導体層３０８中に拡散することを防ぐことができ、信頼性の高いトランジスタ３００を実現できる。また、導電層３１３ａは、半導体層３０８中の酸素が導電層３１３ｂに拡散することを防ぐバリア層として機能することが好ましい。

［０２３６］

なお、導電層３１２ａ及び導電層３１２ｂの構成は２層構造に限られず、銅、銀、金、またはア

ルミニウムを含む導電層を含む３層構造、または４層構造としてもよい。例えば、導電層３１２ａ及び導電層３１２ｂとして、導電層３１３ｂ上に導電層３１３ａと同様の導電性材料を含む導電層を積層した３層構造としてもよい。これにより、導電層３１３ｂの上面の酸化を抑制すること、及び導電層３１３ｂに含まれる金属元素が周囲に飛散することを防ぐことができ、信頼性の高いトランジスタを実現できる。

［０２３７］

導電層３０４は、導電層３１３ａまたは導電層３１３ｂに用いることのできる上述の導電性材料を適宜用いることができる。特に、銅を含む導電性材料を用いることが好ましい。

［０２３８］

半導体層３０８と接する絶縁層３０６及び絶縁層３１４には、酸化物を含む絶縁性材料を用いることが好ましい。また、絶縁層３０６や絶縁層３１４を積層構造とする場合には、半導体層３０８と接する層に、酸化物を含む絶縁性材料を用いる。

［０２３９］

また、絶縁層３０６には窒化シリコンや窒化アルミニウムなどの窒化絶縁膜を用いてもよい。酸化物を含まない絶縁性材料を用いる場合には、絶縁層３０６の上部に酸素を添加する処理を施し、酸素を含む領域を形成することが好ましい。酸素を添加する処理としては、例えば酸素を含む雰囲気下における加熱処理またはプラズマ処理や、イオンドーピング処理などがある。

［０２４０］

絶縁層３１６は、トランジスタ３００を保護する保護層として機能する。絶縁層３１６は、窒化シリコン、窒化酸化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化アルミニウムなどの無機絶縁材料を用いることができる。特に、絶縁層３１６として、窒化シリコンや酸化アルミニウムなどの酸素を拡散しにくい材料を用いることで、作製工程中にかかる熱などにより半導体層３０８や絶縁層３１４から絶縁層３１６を介して外部に酸素が脱離してしまうことを防ぐことができるため好ましい。

［０２４１］

また、絶縁層３１６として平坦化膜として機能する有機絶縁性材料を用いてもよい。または、絶縁層３１６として無機絶縁材料を含む膜と、有機絶縁材料を含む膜の積層膜を用いてもよい。

［０２４２］

また、半導体層３０８は、導電層３１２ａ及び導電層３１２ｂと接する部分及びその近傍に位置し、ソース領域及びドレイン領域として機能する一対の低抵抗領域が形成されていてもよい。当該領域は、半導体層３０８の一部であり、チャネル形成領域よりも低抵抗な領域である。また低抵抗領域は、キャリア濃度が高い領域、またはｎ型である領域などと言い換えることができる。また半導体層３０８において、一対の低抵抗領域に挟まれ、且つ、導電層３０４と重なる領域が、チャネル形成領域として機能する。

［０２４３］

〔構成例１－２〕

以下では、上記構成例１－１と一部の構成が異なるトランジスタの構成例について説明する。なお、以下では、上記構成例１－１と重複する部分は説明を省略する場合がある。

［０２４４］

図２４Ａは、トランジスタ３００Ａのチャネル長方向の断面図であり、図２４Ｂは、チャネル幅

方向の断面図である。

［０２４５］

トランジスタ３００Ａは、絶縁層３１４上に導電層３２０を有する点で、構成例１－１と主に相違している。

［０２４６］

導電層３２０は、絶縁層３１４を介して半導体層３０８と重畳する領域を有する。

［０２４７］

トランジスタ３００Ａにおいて、導電層３０４は、第１のゲート電極（ボトムゲート電極ともいう）としての機能を有し、導電層３２０は、第２のゲート電極（トップゲート電極ともいう）としての機能を有する。また、絶縁層３１４の一部は、第２のゲート絶縁層として機能する。

［０２４８］

また、図２４Ｂに示すように、導電層３２０は、絶縁層３１４、及び絶縁層３０６に設けられた開口部３４２を介して、導電層３０４と電気的に接続されていてもよい。これにより、導電層３２０と導電層３０４には同じ電位を与えることができ、オン電流の高いトランジスタを実現できる。

［０２４９］

また図２４Ｂに示すように、チャネル幅方向において、導電層３０４及び導電層３２０が、半導体層３０８の端部よりも外側に延在していることが好ましい。このとき、図２４Ｂに示すように、半導体層３０８のチャネル幅方向の全体が、導電層３０４及び導電層３２０に覆われた構成となる。

［０２５０］

このような構成とすることで、半導体層３０８を一対のゲート電極によって生じる電界で、電気的に取り囲むことができる。このとき特に、導電層３０４と導電層３２０に同じ電位を与えることが好ましい。これにより、半導体層３０８にチャネルを誘起させるための電界を効果的に印加できるため、トランジスタ３００Ａのオン電流を増大させることができる。そのため、トランジスタ３００Ａを微細化することもできる。

［０２５１］

なお、導電層３０４と導電層３２０とを接続しない構成としてもよい。このとき、一対のゲート電極の一方には定電位を与え、他方にトランジスタ３００Ａを駆動するための信号を与えてもよい。このとき、一方のゲート電極に与える電位により、トランジスタ３００Ａを他方のゲート電極で駆動する際のしきい値電圧を制御することができる。

［０２５２］

または、導電層３２０を導電層３１２ａ及び導電層３１２ｂのいずれか一方と電気的に接続する構成としてもよい。特に、導電層３１２ａ及び導電層３１２ｂのうち、定電位が供給される導電層（例えばソース電極）と、導電層３２０とを電気的に接続することが好ましい。

［０２５３］

以上が構成例１についての説明である。

［０２５４］

［構成例２］

以下では、上記構成例１とは異なるトランジスタの構成例について説明する。

［０２５５］

〔構成例２－１〕

図２５Ａは、トランジスタ３５０の上面図であり、図２５Ｂは、図２５Ａに示す一点鎖線Ａ３－Ａ４における切断面の断面図に相当し、図２５Ｃは、図２５Ａに示す一点鎖線Ｂ３－Ｂ４における切断面の断面図に相当する。一点鎖線Ａ３－Ａ４方向はチャネル長方向、一点鎖線Ｂ３－Ｂ４方向はチャネル幅方向に相当する。

［０２５６］

トランジスタ３５０は、基板３５２上に設けられ、絶縁層３５３、半導体層３５８、絶縁層３６０、金属酸化物層３６４、導電層３６２、絶縁層３６８等を有する。島状の半導体層３５８は、絶縁層３５３上に設けられる。絶縁層３６０は、絶縁層３５３の上面、半導体層３５８の上面及び側面に接して設けられる。金属酸化物層３６４及び導電層３６２は、絶縁層３６０上にこの順に積層して設けられ、半導体層３５８と重畳する部分を有する。絶縁層３６８は、絶縁層３６０の上面、金属酸化物層３６４の側面、及び導電層３６２の上面を覆って設けられている。

［０２５７］

半導体層３５８に、実施の形態１で例示した金属酸化物膜を適用することができる。

［０２５８］

また、図２５Ａ、図２５Ｂに示すように、トランジスタ３５０は、絶縁層３６８上に導電層３７０ａ及び導電層３７０ｂを有していてもよい。導電層３７０ａ及び導電層３７０ｂは、ソース電極またはドレイン電極として機能する。導電層３７０ａ及び導電層３７０ｂは、それぞれ絶縁層３６８、及び絶縁層３６０に設けられた開口部３９１ａまたは開口部３９１ｂを介して、低抵抗領域３５８ｎに電気的に接続される。

［０２５９］

導電層３６２の一部は、ゲート電極として機能する。絶縁層３６０の一部は、ゲート絶縁層として機能する。トランジスタ３５０は、半導体層３５８上にゲート電極が設けられた、いわゆるトップゲート型のトランジスタである。

［０２６０］

導電層３６２、及び金属酸化物層３６４は、上面形状が互いに概略一致するように加工されている。

［０２６１］

なお、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や、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。

［０２６２］

絶縁層３６０と導電層３６２との間に位置する金属酸化物層３６４は、絶縁層３６０に含まれる酸素が導電層３６２側に拡散することを防ぐバリア膜として機能する。さらに金属酸化物層３６４は、導電層３６２に含まれる水素や水が絶縁層３６０側に拡散することを防ぐバリア膜としても機能する。金属酸化物層３６４は、例えば少なくとも絶縁層３６０よりも酸素及び水素を透過しにくい材料を用いることが好ましい。

［０２６３］

金属酸化物層３６４により、導電層３６２にアルミニウムや銅などの酸素を吸引しやすい金属材

料を用いた場合であっても、絶縁層３６０から導電層３６２へ酸素が拡散することを防ぐことができる。また、導電層３６２が水素を含む場合であっても、導電層３６２から絶縁層３６０を介して半導体層３５８へ水素が拡散することを防ぐことができる。その結果、半導体層３５８のチャネル形成領域におけるキャリア密度を極めて低いものとすることができる。

［０２６４］

金属酸化物層３６４としては、絶縁性材料または導電性材料を用いることができる。金属酸化物層３６４が絶縁性を有する場合には、金属酸化物層３６４はゲート絶縁層の一部として機能する。一方、金属酸化物層３６４が導電性を有する場合には、金属酸化物層３６４はゲート電極の一部として機能する。

［０２６５］

金属酸化物層３６４として、酸化シリコンよりも誘電率の高い絶縁性材料を用いることが好ましい。特に、酸化アルミニウム膜、酸化ハフニウム膜、またはハフニウムアルミネート膜等を用いると、駆動電圧を低減できるため好ましい。

［０２６６］

金属酸化物層３６４として、例えば酸化インジウム、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）などの、導電性酸化物を用いることもできる。特にインジウムを含む導電性酸化物は、導電性が高いため好ましい。

［０２６７］

また、金属酸化物層３６４として、半導体層３５８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、上記半導体層３５８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。このとき、金属酸化物層３６４として、半導体層３５８と同じスパッタリングターゲットを用いて形成した金属酸化物膜を適用することで、装置を共通化できるため好ましい。

［０２６８］

また、金属酸化物層３６４は、スパッタリング装置を用いて形成すると好ましい。例えば、スパッタリング装置を用いて酸化物膜を形成する場合、酸素ガスを含む雰囲気で形成することで、絶縁層３６０や半導体層３５８中に好適に酸素を添加することができる。

［０２６９］

半導体層３５８は、導電層３６２と重畳する領域と、当該領域を挟む一対の低抵抗領域３５８ｎを有する。半導体層３５８の、導電層３６２と重畳する領域は、トランジスタ３５０のチャネル形成領域として機能する。一方、低抵抗領域３５８ｎは、トランジスタ３５０のソース領域またはドレイン領域として機能する。

［０２７０］

また低抵抗領域３５８ｎは、チャネル形成領域よりも低抵抗な領域、キャリア濃度が高い領域、酸素欠陥密度の高い領域、不純物濃度の高い領域、またはｎ型である領域ともいうことができる。

［０２７１］

半導体層３５８の低抵抗領域３５８ｎは、不純物元素を含む領域である。当該不純物元素としては、例えば水素、ホウ素、炭素、窒素、フッ素、リン、硫黄、ヒ素、アルミニウム、または希ガスなどが挙げられる。なお、希ガスの代表例としては、ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、及びキセノン等がある。特に、ホウ素またはリンを含むことが好ましい。またこれら元素を２以上含んでいてもよい。

［０２７２］
低抵抗領域３５８ｎに不純物を添加する処理は、導電層３６２をマスクとして、絶縁層３６０を介して行うことができる。低抵抗領域３５８ｎに不純物を添加する処理としては、プラズマイオンドーピング法やイオン注入法を好適に用いることができる。
［０２７３］
低抵抗領域３５８ｎは、不純物濃度が、１×１０^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、１×１０^{23}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下、好ましくは５×１０^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、５×１０^{22}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下、より好ましくは１×１０^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、１×１０^{22}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下である領域を含むことが好ましい。
［０２７４］
低抵抗領域３５８ｎに含まれる不純物の濃度は、例えば二次イオン質量分析法（ＳＩＭＳ：Ｓｅｃｏｎｄａｒｙ　Ｉｏｎ　Ｍａｓｓ　Ｓｐｅｃｔｒｏｍｅｔｒｙ）や、Ｘ線光電子分光法（ＸＰＳ：Ｘ－ｒａｙ　Ｐｈｏｔｏｅｌｅｃｔｒｏｎ　Ｓｐｅｃｔｒｏｓｃｏｐｙ）等の分析法により分析することができる。ＸＰＳ分析を用いる場合には、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。
［０２７５］
また、低抵抗領域３５８ｎにおいて、不純物元素は酸化した状態で存在していることが好ましい。例えば不純物元素としてホウ素、リン、マグネシウム、アルミニウム、シリコンなどの酸化しやすい元素を用いることが好ましい。このような酸化しやすい元素は、半導体層３５８中の酸素と結合して酸化した状態で安定に存在しうるため、後の工程で高い温度（例えば４００℃以上、６００℃以上、または８００℃以上）がかかった場合であっても、脱離することが抑制される。また、不純物元素が半導体層３５８中の酸素を奪うことで、低抵抗領域３５８ｎ中に多くの酸素欠損が生成される。この酸素欠損と、膜中の水素とが結合することでキャリア供給源となるため、低抵抗領域３５８ｎは極めて低抵抗な状態となる。
［０２７６］
例えば、不純物元素としてホウ素を用いた場合、低抵抗領域３５８ｎに含まれるホウ素は酸素と結合した状態で存在しうる。このことは、ＸＰＳ分析において、B_2O_3結合に起因するスペクトル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、または測定下限のバックグラウンドノイズに埋もれる程度にまでピーク強度が極めて小さくなる。
［０２７７］
絶縁層３６０は、半導体層３５８のチャネル形成領域と接する領域、すなわち導電層３６２と重畳する領域を有する。また、絶縁層３６０は、半導体層３５８の低抵抗領域３５８ｎと接し、且つ導電層３６２と重畳しない領域を有する。
［０２７８］
絶縁層３６０の、低抵抗領域３５８ｎと重畳する領域には、上述した不純物元素が含まれる場合がある。このとき、低抵抗領域３５８ｎと同様に、絶縁層３６０中の不純物元素も酸素と結合した状態で存在することが好ましい。このような酸化しやすい元素は、絶縁層３６０中の酸素と結合して酸化した状態で安定に存在しうるため、後の工程で高い温度がかかった場合でも脱離することが抑制される。また特に絶縁層３６０中に加熱により脱離しうる酸素（過剰酸素ともいう）が含まれ

る場合には、当該過剰酸素と不純物元素とが結合して安定化するため、絶縁層３６０から低抵抗領域３５８ｎへ酸素が供給されることを抑制することができる。また、酸化した状態の不純物元素が含まれる絶縁層３６０の一部は、酸素が拡散しにくい状態となるため、絶縁層３６０よりも上側から当該絶縁層３６０を介して低抵抗領域３５８ｎに酸素が供給されることで、高抵抗化することも防ぐことができる。

［０２７９］

絶縁層３６８は、トランジスタ３５０を保護する保護層として機能する。絶縁層３６８としては、例えば酸化物または窒化物などの無機絶縁材料を用いることができる。より具体的な例としては、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化シリコン、窒化酸化シリコン、酸化アルミニウム、酸化窒化アルミニウム、窒化アルミニウム、酸化ハフニウム、ハフニウムアルミネートなどの無機絶縁材料を用いることができる。

［０２８０］

〔構成例２－２〕

図２６Ａは、トランジスタ３５０Ａの上面図であり、図２６Ｂは、トランジスタ３５０Ａのチャネル長方向の断面図であり、図２６Ｃは、トランジスタ３５０Ａのチャネル幅方向の断面図である。

［０２８１］

トランジスタ３５０Ａは、構成例２－１で例示したトランジスタ３５０と比較して、絶縁層３６０の構成が異なる点、及び絶縁層３６６を有する点で、主に相違している。

［０２８２］

絶縁層３６０は、導電層３６２及び金属酸化物層３６４と上面形状が概略一致するように加工されている。絶縁層３６０は、例えば導電層３６２及び金属酸化物層３６４を加工するためのレジストマスクを用いて加工することにより形成することができる。

［０２８３］

絶縁層３６６は、半導体層３５８の導電層３６２、金属酸化物層３６４、及び絶縁層３６０に覆われていない上面及び側面に接して設けられている。また絶縁層３６６は、絶縁層３５３の上面、絶縁層３６０の側面、金属酸化物層３６４の側面、及び導電層３６２の上面及び側面を覆って設けられている。

［０２８４］

絶縁層３６６は、低抵抗領域３５８ｎを低抵抗化させる機能を有する。このような絶縁層３６６としては、絶縁層３６６の成膜時、または成膜後に加熱することにより、低抵抗領域３５８ｎ中に不純物を供給することのできる絶縁膜を用いることができる。または、絶縁層３６６の成膜時、または成膜後に加熱することにより、低抵抗領域３５８ｎ中に酸素欠損を生じさせることのできる絶縁膜を用いることができる。

［０２８５］

例えば、絶縁層３６６として、低抵抗領域３５８ｎに不純物を供給する供給源として機能する絶縁膜を用いることができる。このとき、絶縁層３６６は、加熱により水素を放出する膜であることが好ましい。このような絶縁層３６６を半導体層３５８に接して形成することで、低抵抗領域３５８ｎに水素などの不純物を供給し、低抵抗領域３５８ｎを低抵抗化させることができる。

［０２８６］

絶縁層３６６は、成膜の際に用いる成膜ガスに、水素元素などの不純物元素を含むガスを用いて

成膜される膜であることが好ましい。また絶縁層３６６の成膜温度を高めることで、半導体層３５８に効果的に多くの不純物元素を供給することができる。絶縁層３６６の成膜温度としては、例えば２００℃以上５００℃以下、好ましくは２２０℃以上４５０℃以下、より好ましくは２５０℃以上４００℃以下とすることができる。

［０２８７］

また、絶縁層３６６の成膜を減圧下で、且つ加熱して行うことで、半導体層３５８中の低抵抗領域３５８ｎとなる領域の酸素の脱離を促進することができる。酸素欠損が多く形成された半導体層３５８に、水素などの不純物を供給することで、低抵抗領域３５８ｎ中のキャリア密度が高まり、より効果的に低抵抗領域３５８ｎを低抵抗化させることができる。

［０２８８］

絶縁層３６６としては、例えば、窒化シリコン、窒化酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化アルミニウム、窒化酸化アルミニウムなどの、窒化物を含む絶縁膜を好適に用いることができる。特に窒化シリコンは、水素や酸素に対するブロッキング性を有するため、外部から半導体層への水素の拡散と、半導体層から外部への酸素の脱離の両方を防ぐことができ、信頼性の高いトランジスタを実現できる。

［０２８９］

また、絶縁層３６６は、半導体層３５８中の酸素を吸引し、酸素欠損を生成する機能を有する絶縁膜としてもよい。特に、絶縁層３６６には、金属窒化物を用いることが特に好ましい。

［０２９０］

また、金属窒化物を用いる場合、アルミニウム、チタン、タンタル、タングステン、クロム、またはルテニウムの窒化物を用いることが好ましい。特に、アルミニウムまたはチタンを含むことが特に好ましい。例えば、アルミニウムをスパッタリングターゲットに用い、成膜ガスとして窒素を含むガスを用いた反応スパッタリング法により形成した窒化アルミニウム膜は、成膜ガスの全流量に対する窒素ガスの流量を適切に制御することで、極めて高い絶縁性と、水素や酸素に対する極めて高いブロッキング性とを兼ね備えた膜とすることができる。そのため、このような金属窒化物を含む絶縁膜を、半導体層に接して設けることで、半導体層を低抵抗化できるだけでなく、半導体層から酸素が脱離すること、及び半導体層へ水素が拡散することを好適に防ぐことができる。

［０２９１］

金属窒化物として、窒化アルミニウムを用いた場合、当該窒化アルミニウムを含む絶縁層の厚さを５ｎｍ以上とすることが好ましい。このように薄い膜であっても、水素及び酸素に対する高いブロッキング性と、半導体層の低抵抗化の機能とを両立できる。なお、当該絶縁層の厚さはどれだけ厚くてもよいが、生産性を考慮し、５００ｎｍ以下、好ましくは２００ｎｍ以下、より好ましくは５０ｎｍ以下とすることが好ましい。

［０２９２］

絶縁層３６６に窒化アルミニウム膜を用いる場合、組成式がＡｌＮ$_x$（ｘは０より大きく２以下の実数、好ましくは、ｘは０．５より大きく１．５以下の実数）を満たす膜を用いることが好ましい。これにより、絶縁性に優れ、且つ熱伝導性に優れた膜とすることができるため、トランジスタ３５０Ａを駆動したときに生じる熱の放熱性を高めることができる。

［０２９３］

このような絶縁層３６６を低抵抗領域３５８ｎに接して設けることで、絶縁層３６６が低抵抗領

域３５８ｎ中の酸素を吸引し、低抵抗領域３５８ｎ中に酸素欠損を形成させることができる。またこのような絶縁層３６６を形成した後に、加熱処理を行うことで、低抵抗領域３５８ｎにより多くの酸素欠損を形成することができ、低抵抗化を促進することができる。また、絶縁層３６６に金属酸化物を含む膜を用いた場合、絶縁層３６６が半導体層３５８中の酸素を吸引した結果、絶縁層３６６と低抵抗領域３５８ｎとの間に、絶縁層３６６に含まれる金属元素（例えばアルミニウム）の酸化物を含む層が形成される場合がある。

［０２９４］

ここで、半導体層３５８として、インジウムを含む金属酸化物膜を用いた場合、低抵抗領域３５８ｎの絶縁層３６６側の界面近傍に、酸化インジウムが析出した領域、または、インジウム濃度の高い領域が形成されている場合がある。これにより、極めて低抵抗な低抵抗領域３５８ｎを形成することができる。このような領域の存在は、例えば、Ｘ線光電子分光法（ＸＰＳ：Ｘ－ｒａｙ　Ｐｈｏｔｏｅｌｅｃｔｒｏｎ　Ｓｐｅｃｔｒｏｓｃｏｐｙ）等の分析法で観測できる場合がある。

［０２９５］

〔構成例２－３〕

図２７Ａに、トランジスタ３５０Ｂの断面図を示している。図２７Ａでは、一点鎖線よりも左側にチャネル長方向の断面を、右側にチャネル幅方向の断面を、並べて明示している。

［０２９６］

トランジスタ３５０Ｂは、基板３５２と絶縁層３５３との間に導電層３５６を有する点で、構成例２－１と主に相違している。導電層３５６は半導体層３５８及び導電層３６２と重なる領域を有する。

［０２９７］

トランジスタ３５０Ｂにおいて、導電層３６２は、第２のゲート電極（トップゲート電極ともいう）としての機能を有し、導電層３５６は、第１のゲート電極（ボトムゲート電極ともいう）としての機能を有する。また、絶縁層３６０の一部は、第２のゲート絶縁層として機能し、絶縁層３５３の一部は、第１のゲート絶縁層として機能する。

［０２９８］

半導体層３５８の、導電層３６２及び導電層３５６の少なくとも一方と重なる部分は、チャネル形成領域として機能する。なお以下では説明を容易にするため、半導体層３５８の導電層３６２と重なる部分をチャネル形成領域と呼ぶ場合があるが、実際には導電層３６２と重ならずに、導電層３５６と重なる部分（低抵抗領域３５８ｎを含む部分）にもチャネルが形成されうる。

［０２９９］

また、図２７Ａに示すように、導電層３５６は、金属酸化物層３６４、絶縁層３６０、及び絶縁層３５３に設けられた開口部３９２を介して、導電層３６２と電気的に接続されていてもよい。これにより、導電層３５６と導電層３６２には、同じ電位を与えることができる。

［０３００］

導電層３５６と、導電層３７０ａ及び導電層３７０ｂのいずれか一方とを、電気的に接続する構成としてもよい。

［０３０１］

導電層３５６は、導電層３６２、導電層３７０ａ、または導電層３７０ｂと同様の材料を用いることができる。特に導電層３５６に銅を含む材料を用いると、配線抵抗を低減できるため好ましい。

［０３０２］
図２７Ａでは、絶縁層３５３が、導電層３５６側から、絶縁層３５３ａと、絶縁層３５３ｂとが積層された積層構造を有する場合を示している。このとき、導電層３５６側に位置する絶縁層３５３ａには、導電層３５６に含まれる金属元素を拡散しにくい絶縁膜を用いることが好ましい。例えば窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、酸化アルミニウム膜、酸化ハフニウム膜などの無機絶縁膜を用いることが好ましい。また、半導体層３５８と接する絶縁層３５３ｂには、酸素を含む絶縁膜を用いることが好ましい。例えば酸化シリコン膜、または酸化窒化シリコン膜などを用いることが好ましい。
［０３０３］
また、図２７Ａに示すように、チャネル幅方向において、導電層３６２及び導電層３５６が、半導体層３５８の端部よりも外側に突出していることが好ましい。このとき、図２７Ａに示すように、半導体層３５８のチャネル幅方向の全体が、絶縁層３６０と絶縁層３５３を介して、導電層３６２と導電層３５６に覆われた構成となる。
［０３０４］
このような構成とすることで、半導体層３５８を一対のゲート電極によって生じる電界で、電気的に取り囲むことができる。このとき特に、導電層３５６と導電層３６２に同じ電位を与えることが好ましい。これにより、半導体層３５８にチャネルを誘起させるための電界を効果的に印加できるため、トランジスタ３５０Ｂのオン電流を増大させることができる。そのため、トランジスタ３５０Ｂを微細化することも可能となる。
［０３０５］
なお、導電層３６２と導電層３５６とを接続しない構成としてもよい。このとき、一対のゲート電極の一方に定電位を与え、他方にトランジスタ３５０Ｂを駆動するための信号を与えてもよい。このとき、一方のゲート電極に与える電位により、トランジスタ３５０Ｂを他方のゲート電極で駆動する際のしきい値電圧を制御することもできる。
［０３０６］
〔構成例２－４〕
図２７Ｂに、トランジスタ３５０Ｃの断面図を示している。図２７Ｂでは、一点鎖線よりも左側にチャネル長方向の断面を、右側にチャネル幅方向の断面を、並べて明示している。
［０３０７］
トランジスタ３５０Ｃは、構成例２－２で例示したトランジスタ３５０Ａに、構成例２－３で例示した、第２のゲート電極として機能する導電層３５６を設けた場合の例である。
［０３０８］
このような構成とすることで、オン電流の高いトランジスタとすることができる。または、しきい値電圧を制御することのできるトランジスタとすることができる。
［０３０９］
本実施の形態で例示した構成例、及びそれらに対応する図面等は、少なくともその一部を他の構成例、または図面等と適宜組み合わせて実施することができる。
［０３１０］
本実施の形態は、少なくともその一部を本明細書中に記載する他の実施の形態と適宜組み合わせて実施することができる。

［０３１１］
（実施の形態３）
本実施の形態では、本発明の一態様の金属酸化物膜を有する半導体装置を用いて作製できる表示装置の構成例について説明する。
［０３１２］
図２８Ａは、表示装置７００の上面概略図である。表示装置７００は、可撓性を有する基板７６２を有する。基板７６２には、表示部７０２、一対の回路部７６３、回路部７６４、配線７０４、接続端子７０３ａ、及び接続端子７０３ｂが設けられている。
［０３１３］
回路部７６３及び回路部７６４は、表示部７０２を駆動する機能を有する。回路部７６３は、表示部７０２を挟んで２つ設けられている。回路部７６４は、表示部７０２と配線７０４との間に設けられている。回路部７６３は、例えばゲートドライバとしての機能を有し、回路部７６４は、例えばソースドライバ、またはその一部としての機能を有する。例えば回路部７６４は、バッファ回路、またはデマルチプレクサ回路を含んでいてもよい。
［０３１４］
表示部７０２に設けられる表示素子としては、例えば液晶素子または発光素子など、上述した各種表示素子を適用できる。特に、表示素子として、有機ＥＬ素子を用いることが好ましい。
［０３１５］
基板７６２は、配線７０４、接続端子７０３ａ及び接続端子７０３ｂが設けられる部分が、他の部分よりも突出した上面形状を有する。言い換えると、基板７６２の当該部分の幅が、表示部７０２が設けられる部分の幅よりも小さい形状を有する。
［０３１６］
また基板７６２の突出部は、配線７０４と重なる領域において、湾曲させることができる領域（湾曲部７６１ａ）を有する。また、基板７６２は、表示部７０２が設けられる領域において、湾曲させることができる一対の領域（湾曲部７６１ｂ）を有する。図２８Ａに示すように、基板７６２の一部が突出した形状を有することで、湾曲部７６１ａの湾曲方向と、湾曲部７６１ｂの湾曲方向とは、交差した方向とすることができる。
［０３１７］
接続端子７０３ａはＦＰＣ（Ｆｌｅｘｉｂｌｅ　Ｐｒｉｎｔｅｄ　Ｃｉｒｃｕｉｔ）が接続される端子として機能し、接続端子７０３ｂはＩＣが接続される端子として機能する。
［０３１８］
図２８Ｂ、図２８Ｃには、湾曲部７６１ａと湾曲部７６１ｂにおいて、表示面側とは反対側に基板７６２を湾曲させた場合の、表示装置７００の斜視図を示している。図２８Ｂは、表示面側を含む斜視図であり、図２８Ｃは、表示面側とは反対側を含む斜視図である。また図２８Ｃでは、接続端子７０３ａに接続したＦＰＣ７０６と、接続端子７０３ｂに接続したＩＣ７０７を明示している。
［０３１９］
図２８Ｂに示すように、表示部７０２の両側をそれぞれ湾曲させることにより、電子機器に表示装置７００を組み込む際に、電子機器の両側部に湾曲した表示部を設けることができる。これにより、機能性の高い電子機器を実現できる。
［０３２０］

また、図２８Ｂ、図２８Ｃに示すように、湾曲部７６１ａにより、基板７６２の一部を表示面側とは反対側に折り返すことができる。具体的には、配線７０４が外側になるように、基板７６２の突出部を折り返すことができる。これにより、接続端子７０３ａ及び接続端子７０３ｂを、表示面側とは反対側に配置することができ、さらにはＦＰＣ７０６を表示面側とは反対側に配置することができる。これにより、表示装置７００を電子機器に組み込む際に、非表示部の面積を縮小することが可能となる。

［０３２１］

また、基板７６２には、切欠き部７６５が設けられている。切欠き部７６５は、例えば電子機器が有するカメラのレンズ、光学センサ等の各種センサ、照明装置、または意匠などを配置することのできる部分である。表示部７０２の一部が切り欠かれることにより、より意匠性の高い電子機器を実現できる。また、これにより、筐体表面に対する画面の占有率を高めることができる。

［０３２２］

[断面構成例]

以下では、表示装置の断面構成例について説明する。

［０３２３］

〔構成例１〕

図２９に、表示装置７００の断面概略図を示す。図２９は、図２８Ａで示した表示装置７００の表示部７０２と、回路部７６３と、湾曲部７６１ａと、接続端子７０３ａと、を含む断面を示している。表示部７０２には、トランジスタ７５０及び容量素子７９０が設けられている。回路部７６３には、トランジスタ７５２が設けられている。

［０３２４］

トランジスタ７５０及びトランジスタ７５２は、チャネルが形成される半導体層に、酸化物半導体を適用したトランジスタである。なお、これに限られず、半導体層に、シリコン（アモルファスシリコン、多結晶シリコン、または単結晶シリコン）や、有機半導体を用いたトランジスタを適用することもできる。

［０３２５］

本実施の形態で用いるトランジスタは、高純度化し、酸素欠損の形成を抑制した酸化物半導体膜を有する。該トランジスタは、オフ電流を著しく低くできる。そのため、このようなトランジスタが適用された画素は、画像信号等の電気信号の保持時間を長くでき、画像信号等の書き込み間隔も長く設定できる。よって、リフレッシュ動作の頻度を少なくできるため、消費電力を低減することができる。

［０３２６］

また、本実施の形態で用いるトランジスタは、比較的高い電界効果移動度が得られるため、高速駆動が可能である。例えば、このような高速駆動が可能なトランジスタを表示装置に用いることで、画素のスイッチングトランジスタと、回路部に使用するドライバトランジスタを同一基板上に形成することができる。すなわち、シリコンウェハ等により形成された駆動回路を適用しない構成も可能であり、表示装置の部品点数を削減することができる。また、画素においても、高速駆動が可能なトランジスタを用いることで、高画質な画像を提供することができる。

［０３２７］

容量素子７９０は、トランジスタ７５０が有する第１のゲート電極と同一の膜を加工して形成さ

れる下部電極と、半導体層と同一の金属酸化物膜を加工して形成される上部電極と、を有する。上部電極は、トランジスタ７５０のソース領域及びドレイン領域と同様に低抵抗化されている。また、下部電極と上部電極との間には、トランジスタ７５０の第１のゲート絶縁層として機能する絶縁膜の一部が設けられる。すなわち、容量素子７９０は、一対の電極間に誘電体膜として機能する絶縁膜が挟持された積層型の構造を有する。また、上部電極には、トランジスタ７５０のソース電極及びドレイン電極と同一の膜を加工して得られる配線が接続されている。

［０３２８］

また、トランジスタ７５０、トランジスタ７５２、及び容量素子７９０上には、平坦化膜として機能する絶縁層７７０が設けられている。

［０３２９］

表示部７０２が有するトランジスタ７５０と、回路部７６３が有するトランジスタ７５２とは、異なる構造のトランジスタを用いてもよい。例えば、いずれか一方にトップゲート型のトランジスタを適用し、他方にボトムゲート型のトランジスタを適用した構成としてもよい。なお、上記回路部７６４についても、回路部７６３と同様である。

［０３３０］

なお、トランジスタ７５０及びトランジスタ７５２の構成については、上記実施の形態２を援用できる。

［０３３１］

接続端子７０３ａは、配線７０４の一部を有する。また図２９に示すように、接続端子７０３ａが、複数の導電膜が積層された積層構造を有すると、接続端子７０３ａの導電性や、機械的強度が高まるため好ましい。接続端子７０３ａは、接続層７８０を介してＦＰＣ７０６と電気的に接続されている。接続層７８０としては、例えば異方性導電材料等を用いることができる。

［０３３２］

表示装置７００は、それぞれ支持基板として機能する基板７６２と、基板７４０と、を有する。基板７６２及び基板７４０としては、例えばガラス基板、またはプラスチック基板等の可撓性を有する基板を用いることができる。

［０３３３］

トランジスタ７５０、トランジスタ７５２、容量素子７９０等は、絶縁層７４４上に設けられる。基板７６２と絶縁層７４４とは、接着層７４２によって貼り合されている。

［０３３４］

また、表示装置７００は、発光素子７８２、着色層７３６、遮光層７３８等を有する。

［０３３５］

発光素子７８２は、導電層７７２、ＥＬ層７８６、及び導電層７８８を有する。導電層７７２は、トランジスタ７５０が有するソース電極またはドレイン電極と電気的に接続される。導電層７７２は、絶縁層７７０上に設けられ、画素電極として機能する。また導電層７７２の端部を覆って絶縁層７３０が設けられ、絶縁層７３０及び導電層７７２上にＥＬ層７８６と導電層７８８が積層して設けられている。

［０３３６］

導電層７７２には、可視光に対して反射性を有する材料を用いることができる。例えば、アルミニウム、銀等を含む材料を用いることができる。また、導電層７８８には、可視光に対して透光性

を有する材料を用いることができる。例えば、インジウム、亜鉛、スズ等を含む酸化物材料を用いるとよい。そのため、発光素子７８２は、被形成面とは反対側（基板７４０側）に光を射出する、トップエミッション型の発光素子である。

［０３３７］

ＥＬ層７８６は、有機化合物、または量子ドットなどの無機化合物を有する。ＥＬ層７８６は、電流が流れた際に光を呈する発光材料を含む。

［０３３８］

発光材料としては、蛍光材料、燐光材料、熱活性化遅延蛍光（Ｔｈｅｒｍａｌｌｙ　Ａｃｔｉｖａｔｅｄ　Ｄｅｌａｙｅｄ　Ｆｌｕｏｒｅｓｃｅｎｃｅ：ＴＡＤＦ）材料、無機化合物（量子ドット材料など）などを用いることができる。量子ドットに用いることのできる材料としては、コロイド状量子ドット材料、合金型量子ドット材料、コア・シェル型量子ドット材料、コア型量子ドット材料、などが挙げられる。

［０３３９］

遮光層７３８と、着色層７３６は、絶縁層７４６の一方の面に設けられている。着色層７３６は、発光素子７８２と重なる位置に設けられている。また、遮光層７３８は、表示部７０２において、発光素子７８２と重ならない領域に設けられている。また遮光層７３８は、回路部７６３等にも重ねて設けられていてもよい。

［０３４０］

基板７４０は、絶縁層７４６の他方の面に、接着層７４７によって貼り合されている。また、基板７４０と基板７６２とは、封止層７３２によって貼り合されている。

［０３４１］

ここでは、発光素子７８２が有するＥＬ層７８６として、白色の発光を呈する発光材料が適用されている。発光素子７８２が発する白色の発光は、着色層７３６により着色されて外部に射出される。ＥＬ層７８６は、異なる色を呈する画素に亘って設けられる。表示部７０２に、赤色（Ｒ）、緑色（Ｇ）、または青色（Ｂ）のいずれかを透過する着色層７３６が設けられた画素をマトリクス状に配置することで、表示装置７００は、フルカラーの表示を行うことができる。

［０３４２］

また、導電層７８８として、透過性及び反射性を有する導電膜を用いてもよい。このとき、導電層７７２と導電層７８８との間で微小共振器（マイクロキャビティ）構造を実現し、特定の波長の光を強めて射出する構成とすることができる。またこのとき、導電層７７２と導電層７８８との間に光学距離を調整するための光学調整層を配置し、当該光学調整層の厚さを異なる色の画素間で異ならせることで、それぞれの画素から射出される光の色純度を高める構成としてもよい。

［０３４３］

なお、ＥＬ層７８６を画素毎に島状または画素列毎に縞状に形成する、すなわち塗り分けにより形成する場合においては、着色層７３６や、上述した光学調整層を設けない構成としてもよい。

［０３４４］

ここで、絶縁層７４４と絶縁層７４６には、それぞれ透湿性の低いバリア膜として機能する無機絶縁膜を用いることが好ましい。このような絶縁層７４４と絶縁層７４６との間に、発光素子７８２やトランジスタ７５０等が挟持された構成とすることで、これらの劣化が抑制され、信頼性の高い表示装置を実現できる。

［０３４５］
〔構成例２〕
図３０には、図２９とは一部の構成が異なる表示装置７００の断面図を示している。また、図３０では、湾曲部７６１ａにおいて表示装置７００の一部が湾曲し、表示面側とは反対側に折り返された形態を明示している。
［０３４６］
図３０に示す表示装置７００は、図２９で示した接着層７４２と絶縁層７４４との間に、樹脂層７４３が設けられている。また、基板７４０に換えて、保護層７４９を有する。
［０３４７］
樹脂層７４３は、ポリイミドやアクリルなどの有機樹脂を含む層である。絶縁層７４４は、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化シリコン等の無機絶縁膜を含む。樹脂層７４３と基板７６２とは、接着層７４２によって貼りあわされている。樹脂層７４３は、基板７６２よりも薄いことが好ましい。
［０３４８］
保護層７４９は、封止層７３２と貼りあわされている。保護層７４９としては、ガラス基板や樹脂フィルムなどを用いることができる。また、保護層７４９として、偏光板（円偏光板を含む）、散乱板などの光学部材や、タッチセンサパネルなどの入力装置、またはこれらを２つ以上積層した構成を適用してもよい。また、保護層７４９は、電子機器の筐体の一部（例えば画面となる部分）を構成する部材を含んでいてもよい。
［０３４９］
また、発光素子７８２が有するＥＬ層７８６は、絶縁層７３０及び導電層７７２上に島状に設けられている。ＥＬ層７８６を、副画素毎に発光色が異なるように作り分けることで、着色層７３６を用いずにカラー表示を実現することができる。
［０３５０］
また、発光素子７８２を覆って、保護層７４１が設けられている。保護層７４１は発光素子７８２に水などの不純物が拡散することを防ぐ機能を有する。保護層７４１は、導電層７８８側から絶縁層７４１ａ、絶縁層７４１ｂ、及び絶縁層７４１ｃがこの順で積層された積層構造を有している。このとき、絶縁層７４１ａと絶縁層７４１ｃには、水などの不純物に対してバリア性の高い無機絶縁膜を、絶縁層７４１ｂには平坦化膜として機能する有機絶縁膜を、それぞれ用いることが好ましい。また、保護層７４１は、回路部７６３等にも延在して設けられていることが好ましい。
［０３５１］
また、封止層７３２よりも内側において、トランジスタ７５０やトランジスタ７５２等を覆う有機絶縁膜が島状に形成されることが好ましい。言い換えると、当該有機絶縁膜の端部が、封止層７３２の内側、または封止層７３２の端部と重なる領域に位置することが好ましい。図３０では、絶縁層７７０、絶縁層７３０、及び絶縁層７４１ｂが、島状に加工されている例を示している。例えば封止層７３２と重なる部分では、絶縁層７４１ｃ及び絶縁層７４１ａが接して設けられている。このように、トランジスタ７５０やトランジスタ７５２を覆う有機絶縁膜の表面が、封止層７３２よりも外側に露出しない構成とすることで、外部から当該有機絶縁膜を介してトランジスタ７５０やトランジスタ７５２に水や水素が拡散することを好適に防ぐことができる。これにより、トランジスタの電気特性の変動が抑えられ、極めて信頼性の高い表示装置を実現できる。

［０３５２］
また、図３０において、湾曲部７６１ａには、基板７６２、接着層７４２の他、絶縁層７４４等の無機絶縁膜が設けられていない部分を有する。また湾曲部７６１ａにおいて、配線７０４が露出することを防ぐために、有機材料を含む絶縁層７７０が配線７０４を覆う構成を有している。図３０に示す構成では、湾曲部７６１ａが、樹脂層７４３、配線７０４、及び絶縁層７７０が積層された積層構造を有している。

［０３５３］
湾曲部７６１ａに、無機絶縁膜をできるだけ設けず、且つ、金属または合金を含む導電層と、有機材料を含む層のみを積層した構成とすることで、曲げた際にクラックが生じることを防ぐことができる。また湾曲部７６１ａに基板７６２を設けないことで、極めて小さい曲率半径で、表示装置７００の一部を曲げることができる。

［０３５４］
また、接続端子７０３ａと重なる領域において、樹脂層７４３には、接着層７４８を介して支持体７２０が貼り合されている。支持体７２０は、基板７６２等よりも剛性の高い材料を用いることができる。または、支持体７２０は、電子機器の筐体の一部、または電子機器の内部に配置される部材の一部であってもよい。

［０３５５］
また、図３０において、保護層７４１上には導電層７６１が設けられている。導電層７６１は、配線や電極として用いることができる。

［０３５６］
また、導電層７６１は、表示装置７００に重ねてタッチセンサが設けられる場合に、画素を駆動する際の電気的なノイズが、当該タッチセンサに伝わることを防ぐための静電遮蔽膜として機能させることができる。このとき、導電層７６１には所定の定電位が与えられる構成とすればよい。

［０３５７］
または、導電層７６１は、例えばタッチセンサの電極として用いることができる。これにより、表示装置７００をタッチパネルとして機能させることができる。例えば、導電層７６１は、静電容量方式のタッチセンサの電極または配線として用いることができる。このとき、導電層７６１は、検知回路が接続される配線または電極や、センサ信号が入力される配線または電極として用いることができる。このように、発光素子７８２上にタッチセンサを作りこむことで、部品点数を削減でき、電子機器等の製造コストを削減することができる。

［０３５８］
導電層７６１は、発光素子７８２と重ならない部分に設けられることが好ましい。例えば導電層７６１は、絶縁層７３０と重なる位置に設けることができる。これにより、導電層７６１として、比較的導電性の低い透明導電膜を用いる必要がなく、導電性の高い金属や合金などを用いることができるため、センサの感度を高めることができる。

［０３５９］
なお、導電層７６１を用いて構成することのできるタッチセンサの方式としては、静電容量方式に限られず、抵抗膜方式、表面弾性波方式、赤外線方式、光学方式、感圧方式など様々な方式を用いることができる。または、これら２つ以上を組み合わせて用いてもよい。

［０３６０］

〔構成例３〕

図３１には、表示素子として液晶素子を用いた場合の、表示装置７００ａの断面概略図を示している。図３１では、回路部７６３、表示部７０２、及び接続端子７０３ａを含む領域の断面図を示している。

［０３６１］

図３１に示す表示装置７００ａは、基板７０１と基板７０５との間に、トランジスタ７２１、トランジスタ７２２、液晶素子７１０等を有する。基板７０１と基板７０５とは、封止層７３２によって貼り合されている。

［０３６２］

ここでは、トランジスタ７２１とトランジスタ７２２として、ボトムゲート型のトランジスタを適用した場合について示している。

［０３６３］

液晶素子７１０は、導電層７１１、液晶７１２、及び導電層７１３を有する。導電層７１３は基板７０１上に設けられる。導電層７１３上に一以上の絶縁層が設けられ、当該絶縁層上に、導電層７１１が設けられている。また、液晶７１２は、導電層７１１と基板７０５の間に位置する。導電層７１３は、配線７２３と電気的に接続され、共通電極として機能する。導電層７１１は、トランジスタ７２１と電気的に接続され、画素電極として機能する。配線７２３には、共通電位が与えられる。

［０３６４］

図３１に示す液晶素子７１０は、横電界方式（例えば、ＦＦＳモード）が適用された液晶素子である。導電層７１１は、櫛歯状、またはスリットを有する上面形状を有する。液晶素子７１０は、導電層７１１と導電層７１３との間に生じる電界によって、液晶７１２の配向状態が制御される。

［０３６５］

また、導電層７１１、導電層７１３、及びこれらに挟持された一以上の絶縁層の積層構造により、保持容量として機能する容量素子７９０が形成されている。そのため、別途容量素子を設ける必要がなく、開口率を高めることができる。

［０３６６］

導電層７１１及び導電層７１３には、それぞれ可視光に対して透光性の材料、または反射性の材料を用いることができる。透光性の材料としては、例えば、インジウム、亜鉛、スズ等を含む酸化物材料を用いるとよい。反射性の材料としては、例えば、アルミニウム、銀等を含む材料を用いるとよい。

［０３６７］

導電層７１１または導電層７１３のいずれか一方、または両方に反射性の材料を用いると、表示装置７００ａは反射型の液晶表示装置となる。一方、導電層７１１及び導電層７１３の両方に透光性の材料を用いると、表示装置７００ａは透過型の液晶表示装置となる。反射型の液晶表示装置の場合、視認側に偏光板を設ける。一方、透過型の液晶表示装置の場合、液晶素子を挟むように、一対の偏光板を設ける。

［０３６８］

図３１では、透過型の液晶表示装置の例を示している。基板７０１よりも外側に、偏光板７５５と、光源７５７が設けられ、基板７０５よりも外側に、偏光板７５６が設けられている。光源７５

７は、バックライトとして機能する。

［０３６９］

基板７０５の、基板７０１側の面には、遮光層７３８及び着色層７３６が設けられている。また遮光層７３８及び着色層７３６を覆って、平坦化層として機能する絶縁層７３４が設けられている。絶縁層７３４の基板７０１側の面には、スペーサ７２７が設けられている。

［０３７０］

また、液晶７１２は、導電層７１１を覆う配向膜７２５と、絶縁層７３４を覆う配向膜７２６との間に位置している。なお、配向膜７２５及び配向膜７２６は、不要であれば設けなくてもよい。

［０３７１］

また、図３１には図示しないが、基板７０５よりも外側に、位相差フィルム、反射防止フィルムなどの光学部材（光学フィルム）、保護フィルム、防汚フィルム等を適宜設けることができる。反射防止フィルムとしては、ＡＧ（Ａｎｔｉ　Ｇｌａｒｅ）フィルム、ＡＲ（Ａｎｔｉ　Ｒｅｆｌｅｃｔｉｏｎ）フィルムなどがある。

［０３７２］

液晶７１２には、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、反強誘電性液晶等を用いることができる。また、横電界方式を採用する場合、配向膜を用いないブルー相を示す液晶を用いてもよい。

［０３７３］

また、液晶素子のモードとしては、ＴＮ（Ｔｗｉｓｔｅｄ　Ｎｅｍａｔｉｃ）モード、ＶＡ（Ｖｅｒｔｉｃａｌ　Ａｌｉｇｎｍｅｎｔ）モード、ＩＰＳ（Ｉｎ－Ｐｌａｎｅ－Ｓｗｉｔｃｈｉｎｇ）モード、ＦＦＳ（Ｆｒｉｎｇｅ　Ｆｉｅｌｄ　Ｓｗｉｔｃｈｉｎｇ）モード、ＡＳＭ（Ａｘｉａｌｌｙ　Ｓｙｍｍｅｔｒｉｃ　ａｌｉｇｎｅｄ　Ｍｉｃｒｏ－ｃｅｌｌ）モード、ＯＣＢ（Ｏｐｔｉｃａｌｌｙ　Ｃｏｍｐｅｎｓａｔｅｄ　Ｂｉｒｅｆｒｉｎｇｅｎｃｅ）モード、ＥＣＢ（Ｅｌｅｃｔｒｉｃａｌｌｙ　Ｃｏｎｔｒｏｌｌｅｄ　Ｂｉｒｅｆｒｉｎｇｅｎｃｅ）モード、ゲストホストモードなどを用いることができる。

［０３７４］

また、液晶７１２に高分子分散型液晶や、高分子ネットワーク型液晶などを用いた、散乱型の液晶を用いることもできる。このとき、着色層７３６を設けずに白黒表示を行う構成としてもよいし、着色層７３６を用いてカラー表示を行う構成としてもよい。

［０３７５］

また、液晶素子の駆動方法として、継時加法混色法に基づいてカラー表示を行う、時間分割表示方式（フィールドシーケンシャル駆動方式ともいう）を適用してもよい。その場合、着色層７３６を設けない構成とすることができる。時間分割表示方式を用いた場合、例えばＲ（赤色）、Ｇ（緑色）、Ｂ（青色）のそれぞれの色を呈する副画素を設ける必要がないため、画素の開口率を向上させることや、精細度を高められるなどの利点がある。

［０３７６］

図３１に示す表示装置７００ａは、画素電極として機能する導電層７１１や、共通電極として機能する導電層７１３の被形成面側に、平坦化層として機能する有機絶縁膜を設けない構成を有する。

また、表示装置７００ａが有するトランジスタ７２１等として、作製工程を比較的短くできる、ボトムゲート型のトランジスタが適用されている。また配線７０４、接続端子７０３ａ等は、特別な工程を増やすことなく、トランジスタや液晶素子等の製造工程と共通の工程で作製することができる。このような構成とすることで、製造コストを低減でき、且つ、製造歩留りを高めることができ、信頼性の高い表示装置を安価で提供することが可能となる。

［０３７７］

本実施の形態で例示した構成例、及びそれらに対応する図面等は、少なくともその一部を他の構成例、または図面等と適宜組み合わせて実施することができる。

［０３７８］

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

［０３７９］

（実施の形態４）

本実施の形態では、本発明の一態様の半導体装置を有する表示装置について、図３２Ａ乃至図３２Ｃを用いて説明を行う。

［０３８０］

図３２Ａに示す表示装置は、画素部５０２と、駆動回路部５０４と、保護回路５０６と、端子部５０７と、を有する。なお、保護回路５０６は、設けない構成としてもよい。

［０３８１］

画素部５０２や駆動回路部５０４が有するトランジスタに、本発明の一態様のトランジスタを適用することができる。また保護回路５０６にも、本発明の一態様のトランジスタを適用してもよい。

［０３８２］

画素部５０２は、Ｘ行Ｙ列（Ｘ、Ｙはそれぞれ独立に２以上の自然数）に配置された複数の画素回路５０１を有する。各画素回路５０１は、それぞれ表示素子を駆動する回路を有する。

［０３８３］

駆動回路部５０４は、ゲート線ＧＬ＿１乃至ＧＬ＿Ｘに走査信号を出力するゲートドライバ５０４ａ、データ線ＤＬ＿１乃至ＤＬ＿Ｙにデータ信号を供給するソースドライバ５０４ｂなどの駆動回路を有する。ゲートドライバ５０４ａは、少なくともシフトレジスタを有する構成とすればよい。またソースドライバ５０４ｂは、例えば複数のアナログスイッチなどを用いて構成される。また、シフトレジスタなどを用いてソースドライバ５０４ｂを構成してもよい。

［０３８４］

端子部５０７は、外部の回路から表示装置に電源、制御信号、及び画像信号等を入力するための端子が設けられた部分をいう。

［０３８５］

保護回路５０６は、自身が接続する配線に一定の範囲外の電位が与えられたときに、該配線と別の配線とを導通状態にする回路である。図３２Ａに示す保護回路５０６は、例えば、ゲートドライバ５０４ａと画素回路５０１の間の配線であるゲート線ＧＬ、またはソースドライバ５０４ｂと画素回路５０１の間の配線であるデータ線ＤＬ等の各種配線に接続される。なお図３２Ａでは、保護回路５０６と画素回路５０１とを区別するため、保護回路５０６にハッチングを付している。

［０３８６］

また、ゲートドライバ５０４ａとソースドライバ５０４ｂは、それぞれ画素部５０２と同じ基板上に設けられていてもよいし、ゲートドライバ回路またはソースドライバ回路が別途形成された基板（例えば、単結晶半導体または多結晶半導体で形成された駆動回路基板）をＣＯＧやＴＡＢ（Ｔａｐｅ　Ａｕｔｏｍａｔｅｄ　Ｂｏｎｄｉｎｇ）によって基板に実装する構成としてもよい。

［０３８７］

図３２Ｂ及び図３２Ｃに、画素回路５０１に適用することのできる画素回路の構成の一例を示す。

［０３８８］

図３２Ｂに示す画素回路５０１は、液晶素子５７０と、トランジスタ５５０と、容量素子５６０と、を有する。また画素回路５０１には、データ線ＤＬ＿ｎ、ゲート線ＧＬ＿ｍ、電位供給線ＶＬ等が接続されている。

［０３８９］

液晶素子５７０の一対の電極の一方の電位は、画素回路５０１の仕様に応じて適宜設定される。液晶素子５７０は、書き込まれるデータにより配向状態が設定される。なお、複数の画素回路５０１のそれぞれが有する液晶素子５７０の一対の電極の一方に共通の電位（コモン電位）を与えてもよい。また、各行の画素回路５０１の液晶素子５７０の一対の電極の一方に異なる電位を与えてもよい。

［０３９０］

また、図３２Ｃに示す画素回路５０１は、トランジスタ５５２と、トランジスタ５５４と、容量素子５６２と、発光素子５７２と、を有する。また画素回路５０１には、データ線ＤＬ＿ｎ、ゲート線ＧＬ＿ｍ、電位供給線ＶＬ＿ａ、及び電位供給線ＶＬ＿ｂ等が接続されている。

［０３９１］

なお、電位供給線ＶＬ＿ａ及び電位供給線ＶＬ＿ｂの一方には、高電源電位ＶＤＤが与えられ、他方には、低電源電位ＶＳＳが与えられる。トランジスタ５５４のゲートに与えられる電位に応じて、発光素子５７２に流れる電流が制御されることにより、発光素子５７２からの発光輝度が制御される。

［０３９２］

本実施の形態で例示した構成例、及びそれらに対応する図面等は、少なくともその一部を他の構成例、または図面等と適宜組み合わせて実施することができる。

［０３９３］

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

［０３９４］

（実施の形態５）

以下では、画素に表示される階調を補正するためのメモリを備える画素回路と、これを有する表示装置について説明する。実施の形態１で例示した金属酸化物膜を有するトランジスタは、以下で例示する画素回路に用いられるトランジスタに適用することができる。

［０３９５］

［回路構成］

図３３Ａに、画素回路４００の回路図を示す。画素回路４００は、トランジスタＭ１、トランジスタＭ２、容量Ｃ１、及び回路４０１を有する。また画素回路４００には、配線Ｓ１、配線Ｓ２、

配線Ｇ１、及び配線Ｇ２が接続される。

［０３９６］

トランジスタＭ１は、ゲートが配線Ｇ１と、ソース及びドレインの一方が配線Ｓ１と、他方が容量Ｃ１の一方の電極と、それぞれ接続する。トランジスタＭ２は、ゲートが配線Ｇ２と、ソース及びドレインの一方が配線Ｓ２と、他方が容量Ｃ１の他方の電極、及び回路４０１と、それぞれ接続する。

［０３９７］

回路４０１は、少なくとも一の表示素子を含む回路である。表示素子としては様々な素子を用いることができるが、代表的には有機ＥＬ素子やＬＥＤ素子などの発光素子、液晶素子、またはＭＥＭＳ（Ｍｉｃｒｏ　Ｅｌｅｃｔｒｏ　Ｍｅｃｈａｎｉｃａｌ　Ｓｙｓｔｅｍｓ）素子等を適用することができる。

［０３９８］

トランジスタＭ１と容量Ｃ１とを接続するノードをノードＮ１、トランジスタＭ２と回路４０１とを接続するノードをノードＮ２とする。

［０３９９］

画素回路４００は、トランジスタＭ１をオフ状態とすることで、ノードＮ１の電位を保持することができる。また、トランジスタＭ２をオフ状態とすることで、ノードＮ２の電位を保持することができる。また、トランジスタＭ２をオフ状態とした状態で、トランジスタＭ１を介してノードＮ１に所定の電位を書き込むことで、容量Ｃ１を介した容量結合により、ノードＮ１の電位の変位に応じてノードＮ２の電位を変化させることができる。

［０４００］

ここで、トランジスタＭ１、トランジスタＭ２のうちの一方または両方に、実施の形態１で例示した、酸化物半導体が適用されたトランジスタを適用することができる。そのため極めて低いオフ電流により、ノードＮ１及びノードＮ２の電位を長期間に亘って保持することができる。なお、各ノードの電位を保持する期間が短い場合（具体的には、フレーム周波数が３０Ｈｚ以上である場合等）には、シリコン等の半導体を適用したトランジスタを用いてもよい。

［０４０１］

［駆動方法例］

続いて、図３３Ｂを用いて、画素回路４００の動作方法の一例を説明する。図３３Ｂは、画素回路４００の動作に係るタイミングチャートである。なおここでは説明を容易にするため、配線抵抗などの各種抵抗や、トランジスタや配線などの寄生容量、及びトランジスタのしきい値電圧などの影響は考慮しない。

［０４０２］

図３３Ｂに示す動作では、１フレーム期間を期間Ｔ１と期間Ｔ２とに分ける。期間Ｔ１はノードＮ２に電位を書き込む期間であり、期間Ｔ２はノードＮ１に電位を書き込む期間である。

［０４０３］

〔期間Ｔ１〕

期間Ｔ１では、配線Ｇ１と配線Ｇ２の両方に、トランジスタをオン状態にする電位を与える。また、配線Ｓ１には定電位である電位V_{ref}を供給し、配線Ｓ２には第１データ電位V_wを供給する。

［０４０４］

ノードＮ１には、トランジスタＭ１を介して配線Ｓ１から電位V_{ref}が与えられる。また、ノードＮ２には、トランジスタＭ２を介して配線Ｓ２から第１データ電位V_{w}が与えられる。したがって、容量Ｃ１には電位差$V_{w}-V_{ref}$が保持された状態となる。

［０４０５］

〔期間Ｔ２〕

続いて期間Ｔ２では、配線Ｇ１にはトランジスタＭ１をオン状態とする電位を与え、配線Ｇ２にはトランジスタＭ２をオフ状態とする電位を与える。また、配線Ｓ１には第２データ電位V_{data}を供給する。配線Ｓ２には所定の定電位を与える、またはフローティング状態としてもよい。

［０４０６］

ノードＮ１には、トランジスタＭ１を介して配線Ｓ１から第２データ電位V_{data}が与えられる。このとき、容量Ｃ１による容量結合により、第２データ電位V_{data}に応じてノードＮ２の電位が電位ｄＶだけ変化する。すなわち、回路４０１には、第１データ電位V_{w}と電位ｄＶを足した電位が入力されることとなる。なお、図３３Ｂでは電位ｄＶが正の値であるように示しているが、負の値であってもよい。すなわち、第２データ電位V_{data}が電位V_{ref}より低くてもよい。

［０４０７］

ここで、電位ｄＶは、容量Ｃ１の容量値と、回路４０１の容量値によって概ね決定される。容量Ｃ１の容量値が回路４０１の容量値よりも十分に大きい場合、電位ｄＶは第２データ電位V_{data}に近い電位となる。

［０４０８］

このように、画素回路４００は、２種類のデータ信号を組み合わせて表示素子を含む回路４０１に供給する電位を生成することができるため、画素回路４００内で階調の補正を行うことが可能となる。

［０４０９］

また画素回路４００は、配線Ｓ１及び配線Ｓ２に供給可能な最大電位を超える電位を生成することも可能となる。例えば発光素子を用いた場合では、ハイダイナミックレンジ（ＨＤＲ）表示等を行うことができる。また、液晶素子を用いた場合では、オーバードライブ駆動等を実現できる。

［０４１０］

［適用例］

〔液晶素子を用いた例〕

図３３Ｃに示す画素回路４００ＬＣは、回路４０１ＬＣを有する。回路４０１ＬＣは、液晶素子ＬＣと、容量Ｃ２とを有する。

［０４１１］

液晶素子ＬＣは、一方の電極がノードＮ２及び容量Ｃ２の一方の電極と、他方の電極が電位V_{com2}が与えられる配線と接続する。容量Ｃ２は、他方の電極が電位V_{com1}が与えられる配線と接続する。

［０４１２］

容量Ｃ２は保持容量として機能する。なお、容量Ｃ２は不要であれば省略することができる。

［０４１３］

画素回路４００ＬＣは、液晶素子ＬＣに高い電圧を供給することができるため、例えばオーバードライブ駆動により高速な表示を実現すること、駆動電圧の高い液晶材料を適用することなどがで

きる。また、配線Ｓ１または配線Ｓ２に補正信号を供給することで、使用温度や液晶素子ＬＣの劣化状態等に応じて階調を補正することもできる。

［０４１４］

〔発光素子を用いた例〕

図３３Ｄに示す画素回路４００ＥＬは、回路４０１ＥＬを有する。回路４０１ＥＬは、発光素子ＥＬ、トランジスタＭ３、及び容量Ｃ２を有する。

［０４１５］

トランジスタＭ３は、ゲートがノードＮ２及び容量Ｃ２の一方の電極と、ソース及びドレインの一方が電位V_Hが与えられる配線と、他方が発光素子ＥＬの一方の電極と、それぞれ接続される。容量Ｃ２は、他方の電極が電位V_{com}が与えられる配線と接続する。発光素子ＥＬは、他方の電極が電位V_Lが与えられる配線と接続する。

［０４１６］

トランジスタＭ３は、発光素子ＥＬに供給する電流を制御する機能を有する。容量Ｃ２は保持容量として機能する。容量Ｃ２は不要であれば省略することができる。

［０４１７］

なお、ここでは発光素子ＥＬのアノード側がトランジスタＭ３と接続する構成を示しているが、カソード側にトランジスタＭ３を接続してもよい。そのとき、電位V_Hと電位V_Lの値を適宜変更することができる。

［０４１８］

画素回路４００ＥＬは、トランジスタＭ３のゲートに高い電位を与えることで、発光素子ＥＬに大きな電流を流すことができるため、例えばＨＤＲ表示などを実現することができる。また、配線Ｓ１または配線Ｓ２に補正信号を供給することで、トランジスタＭ３や発光素子ＥＬの電気特性のばらつきの補正を行うこともできる。

［０４１９］

なお、図３３Ｃ、図３３Ｄで例示した回路に限られず、別途トランジスタや容量などを追加した構成としてもよい。

［０４２０］

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

［０４２１］

（実施の形態６）

本実施の形態では、本発明の一態様を用いて作製することができる表示モジュールについて説明する。

［０４２２］

図３４Ａに示す表示モジュール６０００は、上部カバー６００１と下部カバー６００２との間に、ＦＰＣ６００５が接続された表示装置６００６、フレーム６００９、プリント基板６０１０、及びバッテリー６０１１を有する。

［０４２３］

例えば、本発明の一態様を用いて作製された表示装置を、表示装置６００６に用いることができる。表示装置６００６により、極めて消費電力の低い表示モジュールを実現することができる。

［０４２４］
上部カバー６００１及び下部カバー６００２は、表示装置６００６のサイズに合わせて、形状や寸法を適宜変更することができる。

［０４２５］
表示装置６００６はタッチパネルとしての機能を有していてもよい。

［０４２６］
フレーム６００９は、表示装置６００６の保護機能、プリント基板６０１０の動作により発生する電磁波を遮断する機能、放熱板としての機能等を有していてもよい。

［０４２７］
プリント基板６０１０は、電源回路、ビデオ信号及びクロック信号を出力するための信号処理回路、バッテリー制御回路等を有する

［０４２８］
図３４Ｂは、光学式のタッチセンサを備える表示モジュール６０００の断面概略図である。

［０４２９］
表示モジュール６０００は、プリント基板６０１０に設けられた発光部６０１５及び受光部６０１６を有する。また、上部カバー６００１と下部カバー６００２により囲まれた領域に一対の導光部（導光部６０１７ａ、導光部６０１７ｂ）を有する。

［０４３０］
表示装置６００６は、フレーム６００９を間に介してプリント基板６０１０やバッテリー６０１１と重ねて設けられている。表示装置６００６とフレーム６００９は、導光部６０１７ａ、導光部６０１７ｂに固定されている。

［０４３１］
発光部６０１５から発せられた光６０１８は、導光部６０１７ａにより表示装置６００６の上部を経由し、導光部６０１７ｂを通って受光部６０１６に達する。例えば指やスタイラスなどの被検知体により、光６０１８が遮られることにより、タッチ操作を検出することができる。

［０４３２］
発光部６０１５は、例えば表示装置６００６の隣接する２辺に沿って複数設けられる。受光部６０１６は、発光部６０１５と対向する位置に複数設けられる。これにより、タッチ操作がなされた位置の情報を取得することができる。

［０４３３］
発光部６０１５は、例えばＬＥＤ素子などの光源を用いることができ、特に、赤外線を発する光源を用いることが好ましい。受光部６０１６は、発光部６０１５が発する光を受光し、電気信号に変換する光電素子を用いることができる。好適には、赤外線を受光可能なフォトダイオードを用いることができる。

［０４３４］
光６０１８を透過する導光部６０１７ａ、導光部６０１７ｂにより、発光部６０１５と受光部６０１６とを表示装置６００６の下側に配置することができ、外光が受光部６０１６に到達してタッチセンサが誤動作することを抑制できる。特に、可視光を吸収し、赤外線を透過する樹脂を用いると、タッチセンサの誤動作をより効果的に抑制できる。

［０４３５］

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

［０４３６］

（実施の形態７）

本実施の形態では、本発明の一態様の表示装置を適用可能な、電子機器の例について説明する。

［０４３７］

図３５Ａ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。

［０４３８］

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等を有する。表示部６５０２はタッチパネル機能を備える。

［０４３９］

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。

［０４４０］

表示部６５０２は、切欠き部を有し、当該切欠き部に係合するように、カメラ６５０７及び光源６５０８が設けられている。このような構成とすることで、筐体６５０１に対する表示部６５０２の占有面積を大きくできる。

［０４４１］

また、図３５Ｂには、表示部６５０２が開口を有し、開口の内部に、カメラ６５０７と、カメラ６５０７を囲う、環状の光源６５０９が配置されている例を示している。また、表示部６５０２の切欠き部と係合するように、スピーカ６５０５が設けられている。また、表示部６５０２を、被写体を照明する光源として用いてもよい。このような構成とすることで、筐体６５０１に対する表示部６５０２の占有面積をより大きくできる。

［０４４２］

図３５Ｃは、筐体６５０１のマイク６５０６側の端部を含む断面概略図である。

［０４４３］

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。

［０４４４］

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が図示しない接着層により固定されている。

［０４４５］

また、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いる。また、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。また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。

［０４４６］

表示パネル６５１１には本発明の一態様のフレキシブルディスプレイパネルを適用することがで

きる。そのため、極めて軽量な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。

［０４４７］

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

［０４４８］

（実施の形態８）

本実施の形態では、本発明の一態様を用いて作製された表示装置を備える電子機器について説明する。

［０４４９］

以下で例示する電子機器は、表示部に本発明の一態様の表示装置を備えるものである。したがって、高い解像度が実現された電子機器である。また高い解像度と、大きな画面が両立された電子機器とすることができる。

［０４５０］

本発明の一態様の電子機器の表示部には、例えばフルハイビジョン、４Ｋ２Ｋ、８Ｋ４Ｋ、１６Ｋ８Ｋ、またはそれ以上の解像度を有する映像を表示させることができる。

［０４５１］

電子機器としては、例えば、テレビジョン装置、ノート型のパーソナルコンピュータ、モニタ装置、デジタルサイネージ、パチンコ機、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。

［０４５２］

本発明の一態様が適用された電子機器は、家屋やビルの内壁または外壁、自動車等の内装または外装等が有する平面または曲面に沿って組み込むことができる。

［０４５３］

図３６Ａは、ファインダー８１００を取り付けた状態のカメラ８０００の外観を示す図である。

［０４５４］

カメラ８０００は、筐体８００１、表示部８００２、操作ボタン８００３、シャッターボタン８００４等を有する。またカメラ８０００には、着脱可能なレンズ８００６が取り付けられている。

［０４５５］

なおカメラ８０００は、レンズ８００６と筐体とが一体となっていてもよい。

［０４５６］

カメラ８０００は、シャッターボタン８００４を押す、またはタッチパネルとして機能する表示部８００２をタッチすることにより撮像することができる。

［０４５７］

筐体８００１は、電極を有するマウントを有し、ファインダー８１００のほか、ストロボ装置等を接続することができる。

［０４５８］

ファインダー８１００は、筐体８１０１、表示部８１０２、ボタン８１０３等を有する。

［０４５９］

筐体８１０１は、カメラ８０００のマウントと係合するマウントにより、カメラ８０００に取り付けられている。ファインダー８１００はカメラ８０００から受信した映像等を表示部８１０２に表示させることができる。

［０４６０］

ボタン８１０３は、電源ボタン等としての機能を有する。

［０４６１］

カメラ８０００の表示部８００２、及びファインダー８１００の表示部８１０２に、本発明の一態様の表示装置を適用することができる。なお、ファインダーが内蔵されたカメラ８０００であってもよい。

［０４６２］

図３６Ｂは、ヘッドマウントディスプレイ８２００の外観を示す図である。

［０４６３］

ヘッドマウントディスプレイ８２００は、装着部８２０１、レンズ８２０２、本体８２０３、表示部８２０４、ケーブル８２０５等を有している。また装着部８２０１には、バッテリー８２０６が内蔵されている。

［０４６４］

ケーブル８２０５は、バッテリー８２０６から本体８２０３に電力を供給する。本体８２０３は無線受信機等を備え、受信した映像情報を表示部８２０４に表示させることができる。また、本体８２０３はカメラを備え、使用者の眼球やまぶたの動きの情報を入力手段として用いることができる。

［０４６５］

また、装着部８２０１には、使用者に触れる位置に、使用者の眼球の動きに伴って流れる電流を検知可能な複数の電極が設けられ、視線を認識する機能を有していてもよい。また、当該電極に流れる電流により、使用者の脈拍をモニタする機能を有していてもよい。また、装着部８２０１には、温度センサ、圧力センサ、加速度センサ等の各種センサを有していてもよく、使用者の生体情報を表示部８２０４に表示する機能や、使用者の頭部の動きに合わせて表示部８２０４に表示する映像を変化させる機能を有していてもよい。

［０４６６］

表示部８２０４に、本発明の一態様の表示装置を適用することができる。

［０４６７］

図３６Ｃ、図３６Ｄ、図３６Ｅは、ヘッドマウントディスプレイ８３００の外観を示す図である。ヘッドマウントディスプレイ８３００は、筐体８３０１と、表示部８３０２と、バンド状の固定具８３０４と、一対のレンズ８３０５と、を有する。

［０４６８］

使用者は、レンズ８３０５を通して、表示部８３０２の表示を視認することができる。なお、表示部８３０２を湾曲して配置させると、使用者が高い臨場感を感じることができるため好ましい。また、表示部８３０２の異なる領域に表示された別の画像を、レンズ８３０５を通して視認することで、視差を用いた３次元表示等を行うこともできる。なお、表示部８３０２を１つ設ける構成に

限られず、表示部８３０２を２つ設け、使用者の片方の目につき１つの表示部を配置してもよい。

［０４６９］

なお、表示部８３０２に、本発明の一態様の表示装置を適用することができる。本発明の一態様の半導体装置を有する表示装置は、極めて精細度が高いため、図３６Ｅのようにレンズ８３０５を用いて拡大したとしても、使用者に画素が視認されることなく、より現実感の高い映像を表示することができる。

［０４７０］

図３７Ａ乃至図３７Ｇ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、又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、におい又は赤外線を測定する機能を含むもの）、マイクロフォン９００８、等を有する。

［０４７１］

図３７Ａ乃至図３７Ｇ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いてもよい。また、電子機器にカメラ等を設け、静止画や動画を撮影し、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、等を有していてもよい。

［０４７２］

図３７Ａ乃至図３７Ｇに示す電子機器の詳細について、以下説明を行う。

［０４７３］

図３７Ａは、テレビジョン装置９１００を示す斜視図である。テレビジョン装置９１００は、大画面、例えば、５０インチ以上、または１００インチ以上の表示部９００１を組み込むことが可能である。

［０４７４］

図３７Ｂ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、文字や画像情報をその複数の面に表示することができる。図３７Ｂ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の一例としては、電子メール、ＳＮＳ、電話などの着信の通知、電子メールやＳＮＳなどの題名、送信者名、日時、時刻、バッテリーの残量、アンテナ受信の強度などがある。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。

［０４７５］

図３７Ｃ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。

［０４７６］

図３７Ｄ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や、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。

［０４７７］

図３７Ｅ、図３７Ｆ、図３７Ｇ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３７Ｅは携帯情報端末９２０１を展開した状態、図３７Ｇは折り畳んだ状態、図３７Ｆは図３７Ｅと図３７Ｇ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１ｍｍ以上１５０ｍｍ以下で曲げることができる。

［０４７８］

図３８Ａ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７５００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。

［０４７９］

図３８Ａ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や、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７５００にタッチパネルを適用し、これ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、操作ボタンの他に表示部を有していてもよい。

［０４８０］

なお、テレビジョン装置７１００は、テレビ放送の受信機や、ネットワーク接続のための通信装置を有していてもよい。

［０４８１］

図３８Ｂに、ノート型パーソナルコンピュータ７２００を示す。ノート型パーソナルコンピュータ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７５００が組み込まれている。

［０４８２］

図３８Ｃ、図３８Ｄに、デジタルサイネージ（Ｄｉｇｉｔａｌ　Ｓｉｇｎａｇｅ：電子看板）の一例を示す。

［０４８３］

図３８Ｃに示すデジタルサイネージ７３００は、筐体７３０１、表示部７５００、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。

［０４８４］

また、図３８Ｄ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７５００を有する。

［０４８５］

表示部７５００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、また人の目につきやすいため、例えば広告の宣伝効果を高める効果を奏する。

［０４８６］

表示部７５００にタッチパネルを適用し、使用者が操作できる構成とすると好ましい。これにより、広告用途だけでなく、路線情報や交通情報、商用施設の案内情報など、使用者が求める情報を提供するための用途にも用いることができる。

［０４８７］

また、図３８Ｃ、図３８Ｄ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、ユーザが所持するスマートフォン等の情報端末機７３１１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７５００に表示される広告の情報を情報端末機７３１１の画面に表示させることや、情報端末機７３１１を操作することで、表示部７５００の表示を切り替えることができる。

［０４８８］

また、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、不特定多数のユーザが同時にゲームに参加し、楽しむことができる。

［０４８９］

図３８Ａ乃至図３８Ｄにおける表示部７５００に、本発明の一態様の表示装置を適用することができる。

［０４９０］

本実施の形態の電子機器は表示部を有する構成としたが、表示部を有さない電子機器にも本発明の一態様を適用することができる。

［実施例１］

［０４９１］

本実施例では、本発明の一態様の金属酸化物膜を適用したトランジスタを作製し、その電気特性を評価した結果について説明する。

［０４９２］

［試料の作製］

作製したトランジスタの構成は、実施の形態２の構成例２－３及び図２７Ａで例示したトランジスタ３５０Ｂを援用できる。

［０４９３］

まず、ガラス基板上に厚さ約１００ｎｍのタングステン膜をスパッタリング法により形成し、これを加工して第１のゲート電極を得た。続いて、第１のゲート絶縁層として、窒化シリコン膜と酸化窒化シリコン膜とを積層した、厚さ約３００ｎｍの積層膜を、プラズマＣＶＤ法により形成した。

［０４９４］

続いて、第１のゲート絶縁層上に、厚さ約３０ｎｍの金属酸化物膜を成膜し、これを加工して半導体層を得た。金属酸化物膜は、金属元素の原子数比がＩｎ：Ｇａ：Ｚｎ＝４：２：４．１［原子数比］である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した。成膜ガスとしては、アルゴンガスと酸素ガスの混合ガスを用いた。ここで、金属酸化物膜の成膜条件を異ならせた４つの試料（Ｓａｍｐｌｅ　Ｂ１乃至Ｓａｍｐｌｅ　Ｂ４）を作製した。

［０４９５］

Ｓａｍｐｌｅ　Ｂ１の金属酸化物膜は、成膜ガスの総流量に対する酸素ガスの流量の割合（酸素流量比）を１０％とした条件で成膜した。また成膜は、基板を加熱することなく行った。

［０４９６］

Ｓａｍｐｌｅ　Ｂ２の金属酸化物膜は、酸素流量比を３０％とした条件で成膜した。また成膜は、基板を加熱することなく行った。

［０４９７］

Ｓａｍｐｌｅ　Ｂ３の金属酸化物膜は、酸素流量比を４０％とした条件で成膜した。また成膜は、基板を加熱することなく行った。

［０４９８］

Ｓａｍｐｌｅ　Ｂ４の金属酸化物膜は、酸素流量比を５０％とした条件で成膜した。また成膜は、基板を加熱することなく行った。

［０４９９］

Ｓａｍｐｌｅ　Ｂ１乃至Ｓａｍｐｌｅ　Ｂ４の金属酸化物膜は、それぞれ上記実施の形態１で示したｓａｍｐｌｅ　Ａ１乃至ｓａｍｐｌｅ　Ａ４の金属酸化物膜と同じ条件で形成したものである。

［０５００］

半導体層の形成後、窒素ガス雰囲気下にて３５０℃、１時間の加熱処理を行った後、窒素ガスと酸素ガスの混合雰囲気下にて３５０℃、１時間の加熱処理を行った。

［０５０１］

続いて、第２のゲート絶縁層として、厚さ約１５０ｎｍの酸化窒化シリコン膜をプラズマＣＶＤ法により成膜した。

［０５０２］

続いて、第２のゲート絶縁層上に、スパッタリング法により厚さ約２０ｎｍの金属酸化物膜を成膜した。金属酸化物膜の成膜は、金属元素の原子数比がＩｎ：Ｇａ：Ｚｎ＝４：２：４．１［原子数比］である金属酸化物ターゲットを用い、酸素を含む雰囲気下で行った。その後、窒素を含む雰囲気下で３５０℃、１時間の加熱処理を行った。

［０５０３］

続いて、金属酸化物膜上に厚さ約１００ｎｍのモリブデン膜をスパッタリング法により成膜した。その後、モリブデン膜と金属酸化物膜の一部をエッチングにより除去し、第２のゲート電極と、金属酸化物層を得た。

［０５０４］

続いて、第２のゲート電極をマスクとして、不純物元素としてホウ素の添加処理を行った。不純物の添加は、プラズマイオンドーピング装置を用いた。ホウ素を供給するためのガスにはB_2H_6ガスを用いた。

［０５０５］

続いて、トランジスタを覆う保護絶縁層として、厚さ約３００ｎｍの酸化窒化シリコン膜をプラズマＣＶＤ法により成膜した。その後、保護絶縁層及び第２のゲート絶縁層の一部をエッチングにより開口し、モリブデン膜をスパッタリング法により成膜した後、これを加工してソース電極及びドレイン電極を得た。その後、平坦化層として厚さ約１．５μｍのアクリル膜を形成し、窒素雰囲気下にて２５０℃、１時間の加熱処理を行った。

［０５０６］

以上の工程により、それぞれガラス基板上に形成されたトランジスタを有する、Ｓａｍｐｌｅ　Ｂ１乃至Ｓａｍｐｌｅ　Ｂ４を得た。

［０５０７］

[トランジスタのＩｄ－Ｖｇ特性]

続いて、上記で作製したトランジスタのＩｄ－Ｖｇ特性を測定した。

［０５０８］

トランジスタのＩｄ－Ｖｇ特性の測定条件としては、ゲート電極（第１のゲート電極及び第２のゲート電極）に印加する電圧（ゲート電圧（Ｖｇ）ともいう）を、－１５Ｖから＋２０Ｖまで０．２５Ｖ刻みで印加した。また、ソース電極に印加する電圧（ソース電圧（Ｖｓ）ともいう）を０Ｖとし、ドレイン電極に印加する電圧（ドレイン電圧（Ｖｄ）ともいう）を、０．１Ｖ及び１０Ｖとした。

［０５０９］

また、測定したトランジスタは、設計値がチャネル長２μｍ、チャネル幅３μｍのトランジスタとした。

［０５１０］

図３９Ａ乃至図３９Ｄに、Ｓａｍｐｌｅ　Ｂ１乃至Ｓａｍｐｌｅ　Ｂ４のＩｄ－Ｖｇ特性を示している。各図において、横軸はゲート電圧（Ｖｇ）、縦軸はドレイン電流（Ｉｄ）を示している。また各図には、ドレイン電圧（Ｖｄ）が１０ＶのときのＩｄ－Ｖｇ特性から算出した電界効果移動度（μＦＥ）を破線で示している。

［０５１１］

図３９Ａ乃至図３９Ｄに示すように、いずれの試料についても良好な電気特性が得られることが確認できた。このことから、本発明の一態様の金属酸化物膜を用いたトランジスタは、金属酸化物膜の成膜条件（特に酸素流量比）にばらつきが生じたとしても、電気特性への影響は軽微であることが示唆され、量産性に優れることが確認できた。

［０５１２］

[信頼性の評価]

続いて、上記Ｓａｍｐｌｅ　Ｂ１乃至Ｓａｍｐｌｅ　Ｂ４について、信頼性の評価を行った。信頼性の評価として、ゲートバイアスストレス試験（ＧＢＴ試験）を行った。ＧＢＴ試験は、トランジスタが形成されている基板を６０℃に保持し、トランジスタのソースとドレインに０Ｖ、ゲートには２０Ｖまたは－２０Ｖの電圧を印加し、この状態を一時間保持した。ここでは特に、ＰＢＴＳ試験及びＮＢＴＩＳ試験の結果について示す。なお、ＮＢＴＩＳにおける光の照射は、約３４００ｌｘの白色ＬＥＤ光を用いた。また、ここで測定したトランジスタは、設計値がチャネル長２μｍ、チャネル幅３μｍのトランジスタとした。

［０５１３］

図４０に、Ｓａｍｐｌｅ　Ｂ１乃至Ｓａｍｐｌｅ　Ｂ４における、ＰＢＴＳ試験及びＮＢＴＩＳ試験前後での、しきい値電圧の変動量（ΔＶｔｈ）を示す。また一例として、図４１Ａ乃至図４１Ｄには、Ｓａｍｐｌｅ　Ｂ１及びＳａｍｐｌｅ　Ｂ４における、ＧＢＴ試験前後でのＩｄ－Ｖｇ特性の推移を示している。図４１ＡはＳａｍｐｌｅ　Ｂ１のＰＢＴＳ試験、図４１ＢはＳａｍｐｌｅ　Ｂ４のＰＢＴＳ試験、図４１ＣはＳａｍｐｌｅ　Ｂ１のＮＢＴＩＳ試験、図４１ＤはＳａｍｐｌｅ　Ｂ４のＮＢＴＩＳ試験の結果について、それぞれ示している。

［０５１４］

図４０、及び図４１Ａ乃至図４１Ｄに示すように、いずれの試料についても、しきい値電圧の変動が小さく、信頼性の高いトランジスタであることが確認できた。

［０５１５］

以上の結果から、本発明の一態様の金属酸化物膜を適用したトランジスタは、短いチャネル長であっても良好なトランジスタ特性を示し、また、信頼性の高いトランジスタであることが確認できた。

［実施例２］

［０５１６］

本実施例では、本発明の一態様の金属酸化物膜の組成について調査した結果について説明する。

［０５１７］

[試料の作製]

本実施例で用いた試料は、ガラス基板上にスパッタリング法により金属酸化物膜を成膜したものである。金属酸化物膜の成膜は、金属元素の原子数比がＩｎ：Ｇａ：Ｚｎ＝４：２：４．１［原子数比］である金属酸化物ターゲットを用いた。成膜ガスとしては、アルゴンガスと酸素ガスの混合ガスを用いた。また、金属酸化物膜の成膜は、基板を加熱することなく行った。ここで、金属酸化物膜の成膜条件を異ならせた３つの試料（Ｓａｍｐｌｅ　Ｃ１乃至Ｓａｍｐｌｅ　Ｃ３）を作製した。

［０５１８］

Ｓａｍｐｌｅ　Ｃ１の金属酸化物膜は、成膜ガスの総流量に対する酸素ガスの流量の割合（酸素流量比）を１０％とした条件で成膜した。Ｓａｍｐｌｅ　Ｃ２の金属酸化物膜は、酸素流量比を３０％とした条件で成膜した。Ｓａｍｐｌｅ　Ｃ３の金属酸化物膜は、酸素流量比を５０％とした条件で成膜した。

［０５１９］

[ＨＡＡＤＦ－ＳＴＥＭ観察及びＥＤＸ分析]

作製した３つの試料について、高角散乱環状暗視野走査透過電子顕微鏡法（ＨＡＡＤＦ－ＳＴＥＭ：Ｈｉｇｈ－Ａｎｇｌｅ　Ａｎｎｕｌａｒ　Ｄａｒｋ　Ｆｉｅｌｄ　Ｓｃａｎｎｉｎｇ　Ｔｒａｎｓｍｉｓｓｉｏｎ　Ｅｌｅｃｔｒｏｎ　Ｍｉｃｒｏｓｃｏｐｙ）による観察と、エネルギー分散型Ｘ線分光法（ＥＤＸ：Ｅｎｅｒｇｙ　Ｄｉｓｐｅｒｓｉｖｅ　Ｘ－ｒａｙ　Ｓｐｅｃｔｒｏｓｃｏｐｙ）による組成分析を行った。

［０５２０］

図４２に、各試料におけるＨＡＡＤＦ－ＳＴＥＭ像と、Ｉｎ、Ｇａ、及びＺｎに対するＥＤＸマッピング像をそれぞれ示す。各試料において、ＨＡＡＤＦ－ＳＴＥＭ像と、ＥＤＸマッピング像とは、同一の領域を観察した結果である。

［０５２１］
ＨＡＡＤＦ－ＳＴＥＭ像においては、原子番号の２乗に比例したコントラストが得られるため、明るい領域ほど重い原子が存在していることを示唆することになる。また、ＥＤＸマッピング像では、明るい色の領域は、該当する元素が多く存在する領域に対応し、暗い色の領域は、該当する元素が少ない領域に対応する。

［０５２２］
図４２のＥＤＸマッピング像に示すように、Ｓａｍｐｌｅ　Ｃ１、Ｓａｍｐｌｅ　Ｃ２、及びＳａｍｐｌｅ　Ｃ３のいずれについても、濃淡が確認された。このことから、Ｉｎ、Ｇａ、及びＺｎが、数ナノメートルの範囲で、均一に存在していないことが確認できた。

［０５２３］
[組成の定量分析]
続いて、各試料について、上記ＩｎのＥＤＸマッピング像における明るい領域（Ｉｎ－ｒｉｃｈ領域）、及び、暗い領域（Ｉｎ－ｐｏｏｒ領域）、ならびにＧａのＥＤＸマッピング像における明るい領域（Ｇａ－ｒｉｃｈ領域）、及び、暗い領域（Ｇａ－ｐｏｏｒ領域）のそれぞれについて、Ｉｎ、Ｇａ、及びＺｎについて定量分析を行った。定量分析は、各５ポイントについて行った。

［０５２４］
図４３Ａ乃至図４３Ｄに、Ｓａｍｐｌｅ　Ｃ１の定量分析の結果を示す。図４３ＡはＩｎ－ｒｉｃｈ領域、図４３ＢはＩｎ－ｐｏｏｒ領域、図４３ＣはＧａ－ｒｉｃｈ領域、図４３Ｄは、Ｇａ－ｐｏｏｒ領域についての分析結果を、それぞれ示す。各図において、横軸はＩｎ、Ｇａ、及びＺｎの組成の和を１００％としたときの各元素の割合であり、５つの測定ポイントについて棒グラフで示している。

［０５２５］
図４３Ｂ及び図４３Ｃに着目すると、ＧａがＩｎよりも多く検出されており、また、ターゲットの組成（Ｉｎ：Ｇａ：Ｚｎ＝４：２：４．１）と比較しても、Ｇａの割合が多い領域が存在することが分かる。なお、図４３ＢのＩｎ－ｐｏｏｒ領域でＩｎが検出されていることは、測定サンプルの厚さが約３０ｎｍであり、奥行き方向に存在するＩｎが検出されている結果であると考えられる。

［０５２６］
また、図４３Ａ及び図４３Ｄに着目すると、Ｇａの組成が極めて小さい、またはＧａが検出されない箇所も見られた。Ｇａが検出されない領域には、酸化インジウムまたは、インジウム亜鉛酸化物のような状態が存在していると推察される。

［０５２７］
以上の結果からも、実際に成膜された金属酸化物膜は、ターゲットの組成を反映した均一な膜ではなく、異なる組成の領域が分布した膜であることが確認できた。

［０５２８］
なお、ここではＳａｍｐｌｅ　Ｃ１の結果のみを示したが、Ｓａｍｐｌｅ　Ｃ２、Ｓａｍｐｌｅ　Ｃ３についても、同様の傾向がみられた。

［０５２９］
[ヒストグラムによる解析]
続いて、図４２に示す各ＥＤＸマッピング像全体について定量分析を行い、得られたＩｎ、Ｇａ、及びＺｎそれぞれの組成について、ヒストグラムを用いた解析を行った。

［０５３０］

図４４Ａ、図４４Ｂ、及び図４４Ｃに、それぞれＳａｍｐｌｅ　Ｃ１、Ｓａｍｐｌｅ　Ｃ２、Ｓａｍｐｌｅ　Ｃ３における、ヒストグラムを示す。各図において、横軸は組成を示し、縦軸は頻度を示している。また、各要素を見やすくするため、各図には、ピークの頂点近傍に、元素名を明示している。

［０５３１］

図４４Ａ乃至図４４Ｃに示すように、いずれの試料においても組成の分布には大きな差は認められないことが確認できた。また、いずれの試料においても、Ｇａが検出されない領域（Ｇａの組成が０である領域）が存在することも確認できた。以上のことから、酸素流量比を異ならせることで形成した、結晶性の異なる複数の金属酸化物膜において、組成の分布に大きな違いは見られないことが確認できた。

［０５３２］

以上の結果から、本発明の一態様の金属酸化物膜は、均一な膜ではなく、金属酸化物膜を構成する金属元素が不均一に分布した膜であり、コンポジットのように観測されることが確認できた。

［符号の説明］

［０５３３］

１０：基板、１１：金属酸化物膜、１２ａ、１２ｂ：領域、２０：ダイレクトスポット、２０ａ、２０ｂ、２０ｃ、２０ｄ：電子線回折パターン、２１：第１のスポット、２２：第２のスポット、３０、３０ａ、３０ｂ、３０ｃ、３０ｒ：ヒストグラム、３１：第１の領域、３２：第２の領域、４１、４２：ピーク、３００、３００Ａ：トランジスタ、３０２：基板、３０４：導電層、３０６：絶縁層、３０８：半導体層、３１２ａ、３１２ｂ、３１３ａ、３１３ｂ：導電層、３１４、３１６：絶縁層、３２０：導電層、３４２：開口部、３５０、３５０Ａ、３５０Ｂ、３５０Ｃ：トランジスタ、３５２：基板、３５３、３５３ａ、３５３ｂ：絶縁層、３５６：導電層、３５８：半導体層、３５８ｎ：低抵抗領域、３６０：絶縁層、３６２：導電層、３６４：金属酸化物層、３６６、３６８：絶縁層、３７０ａ、３７０ｂ：導電層、３９１ａ、３９１ｂ、３９２：開口部

請求の範囲

［請求項１］

インジウム、Ｍ（Ｍはアルミニウム、ガリウム、イットリウム、またはスズ）、及び亜鉛を含む金属酸化物膜であって、

前記金属酸化物膜の膜面に垂直な方向から電子線を照射する電子線回折で決定される面間隔ｄの分布が、第１のピークと、第２のピークとを有し、

前記第１のピークの頂点が、０．２５ｎｍ以上０．３０ｎｍ以下に位置し、

前記第２のピークの頂点が、０．１５ｎｍ以上０．２０ｎｍ以下に位置し、

前記面間隔ｄの分布は、前記金属酸化物膜の複数の領域における複数の電子線回折パターンから得られるものであり、

前記電子線回折は、ビーム径が０．３ｎｍ以上１０ｎｍ以下である電子線を用いて行われる、

金属酸化物膜。

［請求項２］

請求項１において、

前記第１のピークの頂点の高さが、前記第２のピークの頂点の高さよりも高い、

金属酸化物膜。

［請求項３］

請求項１において、

前記第１のピークの頂点の高さが、前記第２のピークの頂点の高さよりも低い、

金属酸化物膜。

［請求項４］

半導体層と、ゲート電極と、ゲート絶縁層と、を有し、

前記半導体層は、請求項１乃至請求項３のいずれか一に記載の金属酸化物膜を含む、

半導体装置。

［請求項５］

金属酸化物膜の複数の領域に対して、前記金属酸化物膜の膜面に垂直な方向から、ビーム径が０．３ｎｍ以上１０ｎｍ以下である電子線を照射して、複数の電子線回折パターンを取得し、

複数の前記電子線回折パターンで観測される複数のスポットに対して、面間隔ｄを算出し、

前記面間隔ｄの度数分布の形状から、前記金属酸化物膜の結晶性を評価する、

金属酸化物膜の評価方法。

［請求項６］

金属酸化物膜の複数の領域に対して、前記金属酸化物膜の膜面に垂直な方向から、ビーム径が０．３ｎｍ以上１０ｎｍ以下である電子線を照射して、複数の電子線回折パターンを取得し、

複数の前記電子線回折パターンで観測される複数のスポットに対して、基準線からの角度 θ を算出し、

前記角度 θ の分布の形状から、前記金属酸化物膜の結晶性を評価する、

金属酸化物膜の評価方法。

図1A

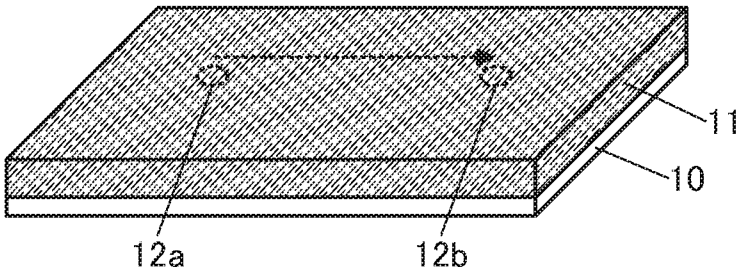


図1B

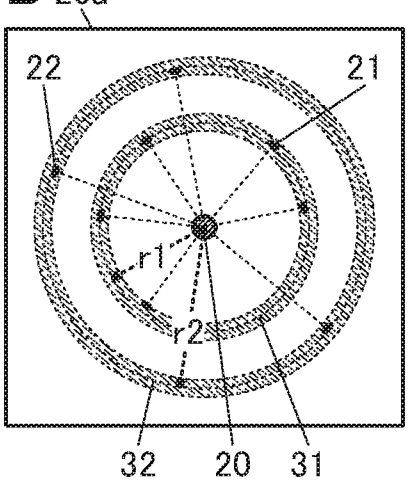


図1C

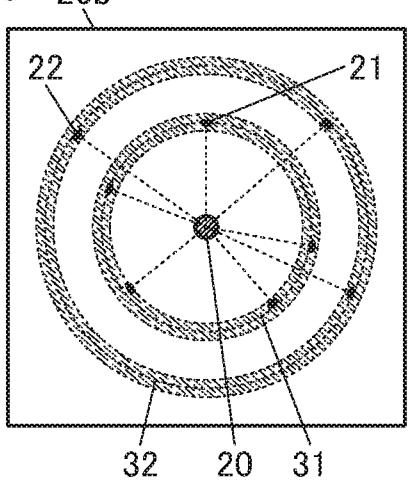


図1D

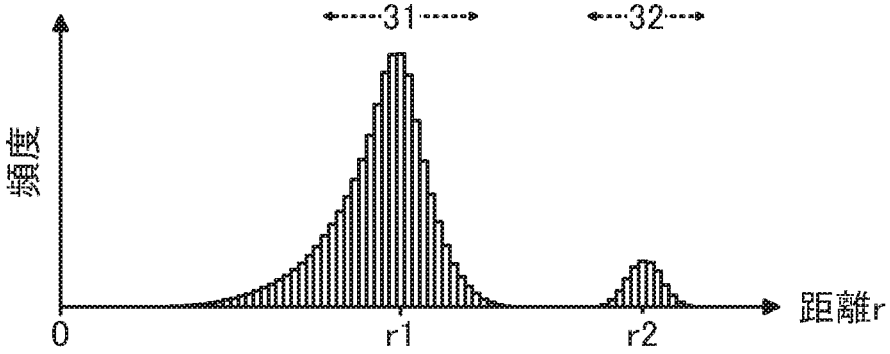


図1E

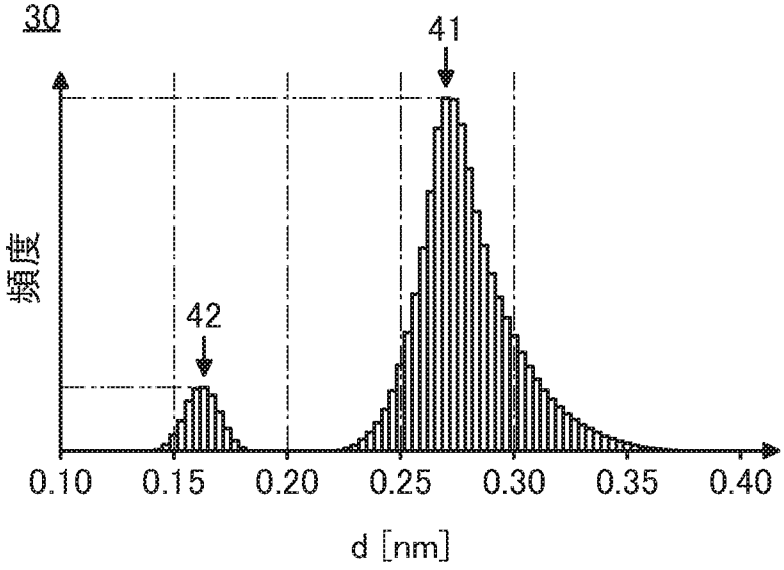


図2A

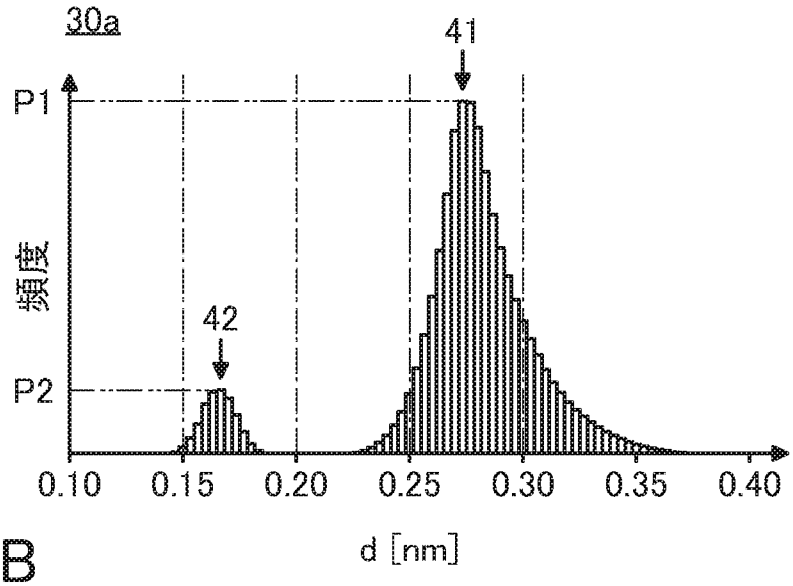

30a
41
P1
頻度
42
P2
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30
0.35
0.40
d [nm]

図2B

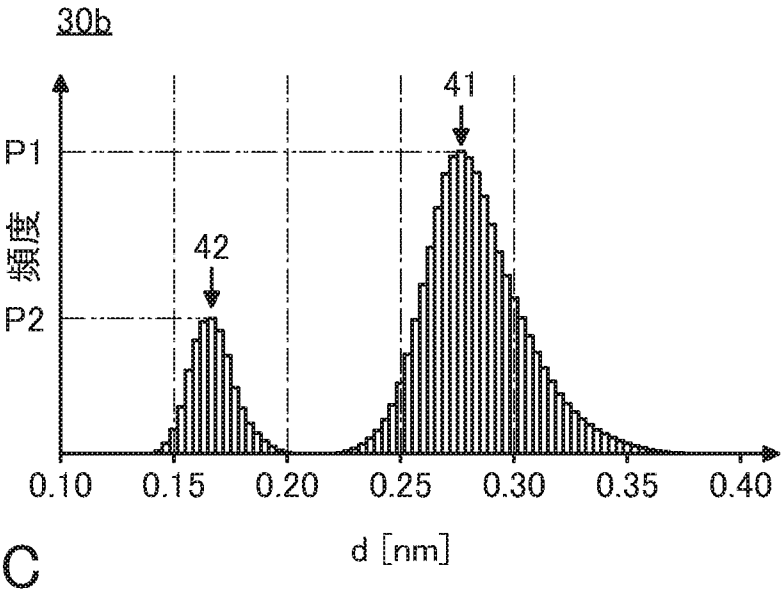

30b
41
P1
頻度
42
P2
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30
0.35
0.40
d [nm]

図2C

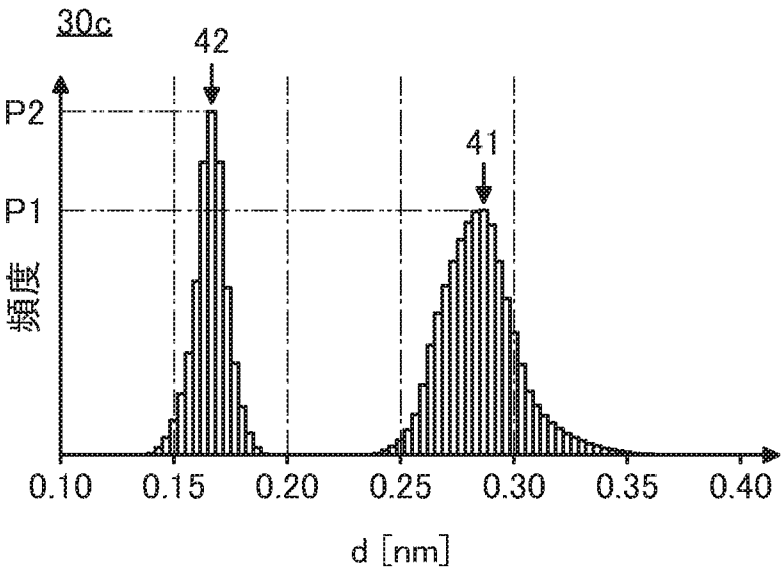

30c
42
P2
41
P1
頻度
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30
0.35
0.40
d [nm]

図3A

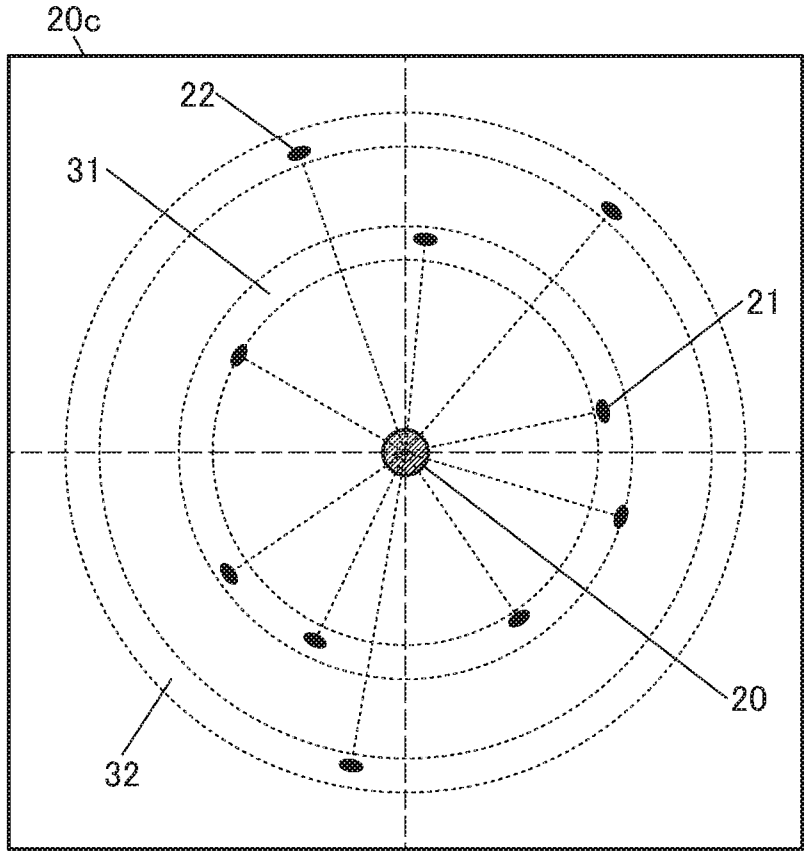


図3B

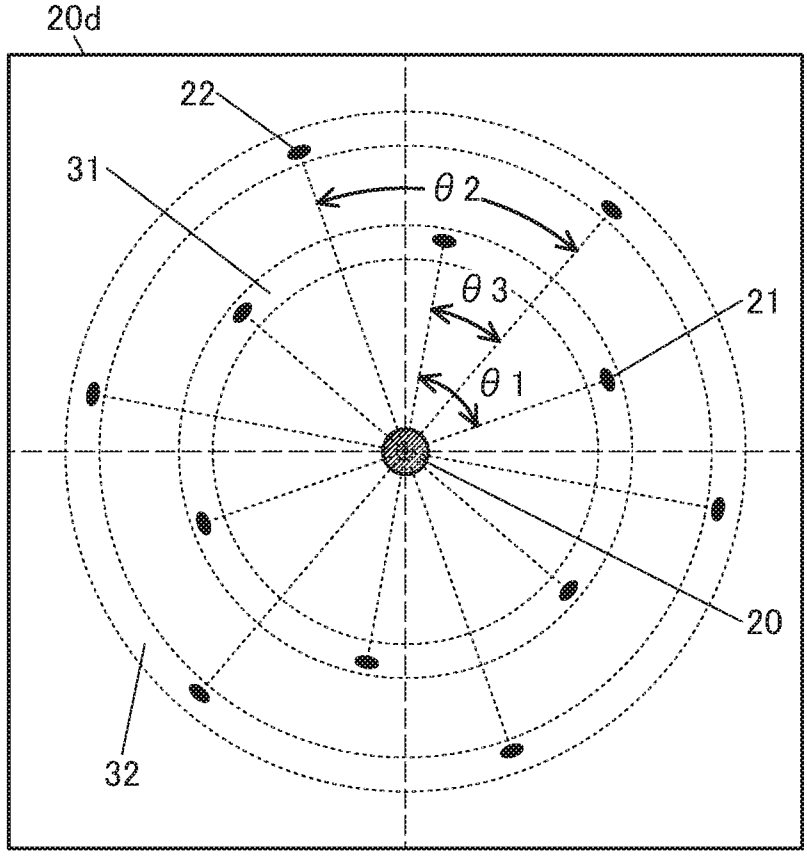


図4A

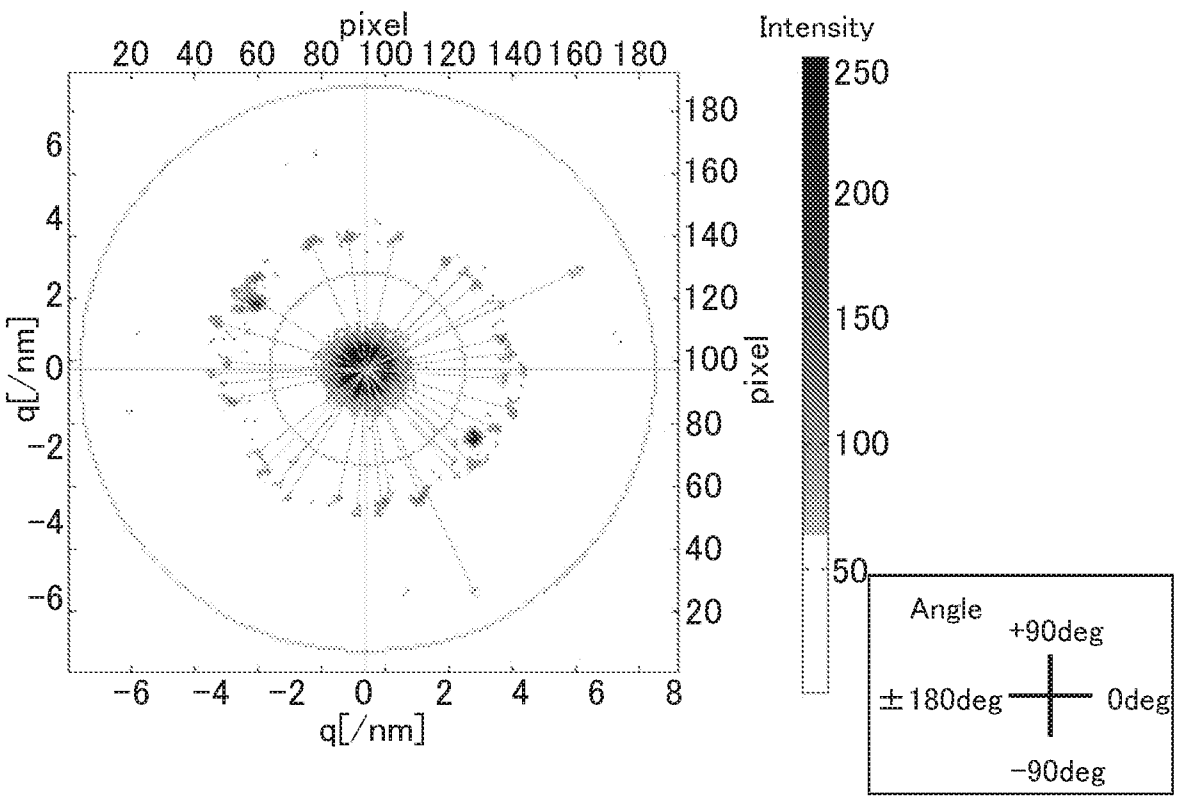

sample A1
pixel
20 40 60 80 100 120 140 160 180
q[/nm]
6 4 2 0 −2 −4 −6
180 160 140 120 100 80 60 40 20
pixel
Intensity
250 200 150 100 50
Angle
+90deg
±180deg
0deg
−90deg
−6 −4 −2 0 2 4 6 8
q[/nm]

図4B

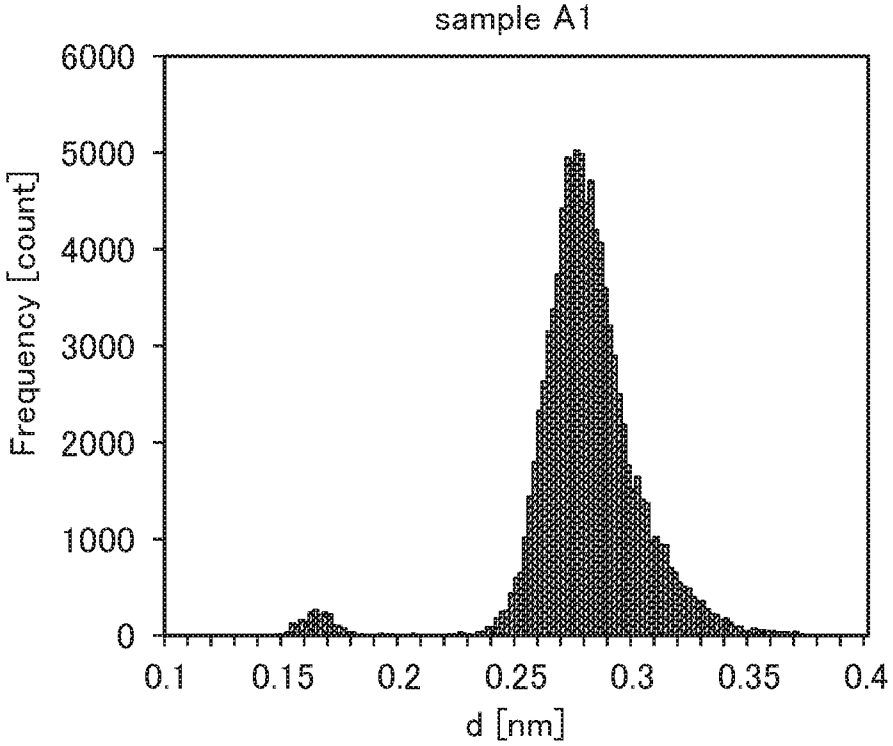

sample A1
Frequency [count]
6000 5000 4000 3000 2000 1000 0
0.1 0.15 0.2 0.25 0.3 0.35 0.4
d [nm]

図5A

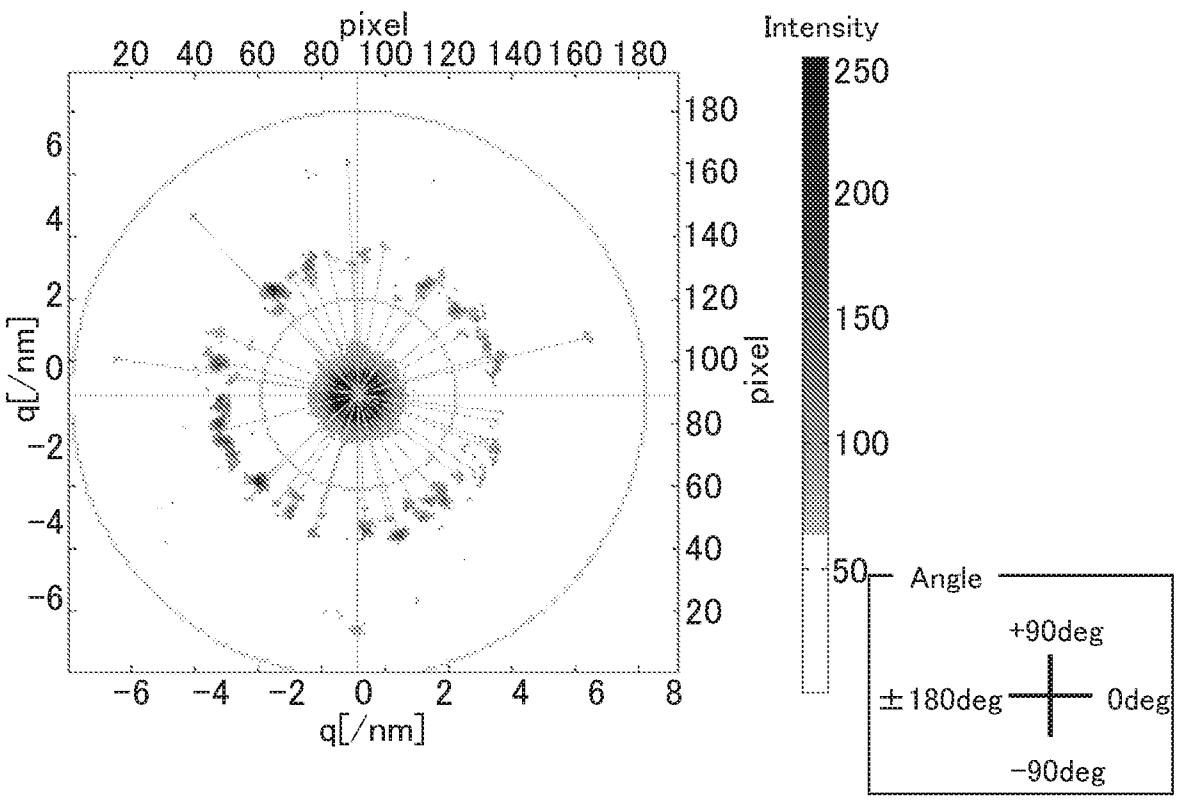

sample A2
pixel
20 40 60 80 100 120 140 160 180
q[/nm]
6 4 2 0 -2 -4 -6
-6 -4 -2 0 2 4 6 8
q[/nm]
180 160 140 120 100 80 60 40 20
pixel
Intensity
250 200 150 100 50
Angle
+90deg
±180deg
0deg
-90deg

図5B

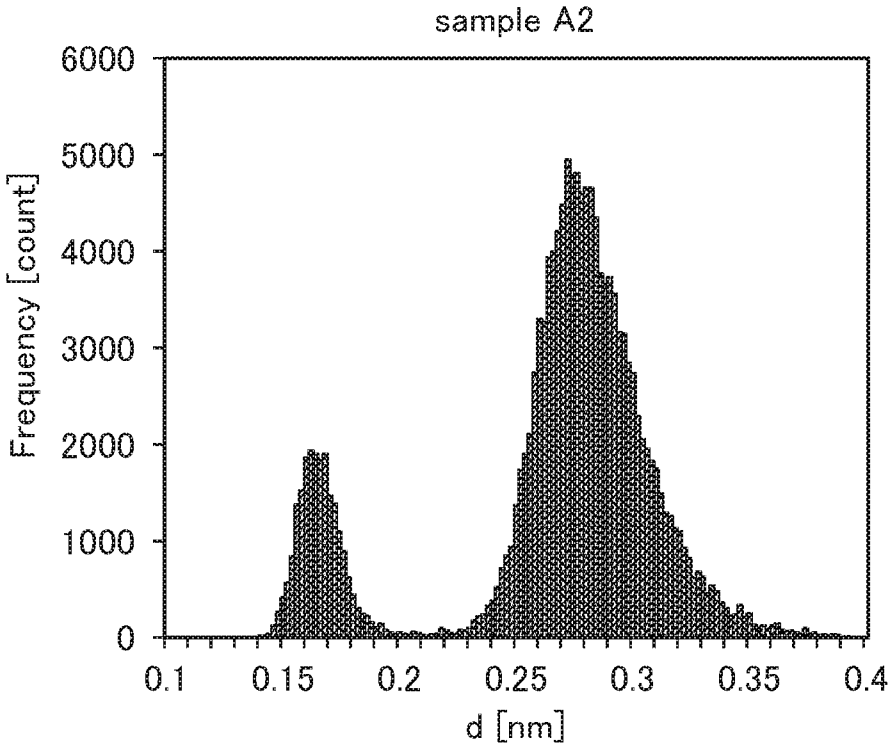

sample A2
Frequency [count]
6000 5000 4000 3000 2000 1000 0
0.1 0.15 0.2 0.25 0.3 0.35 0.4
d [nm]

図6A

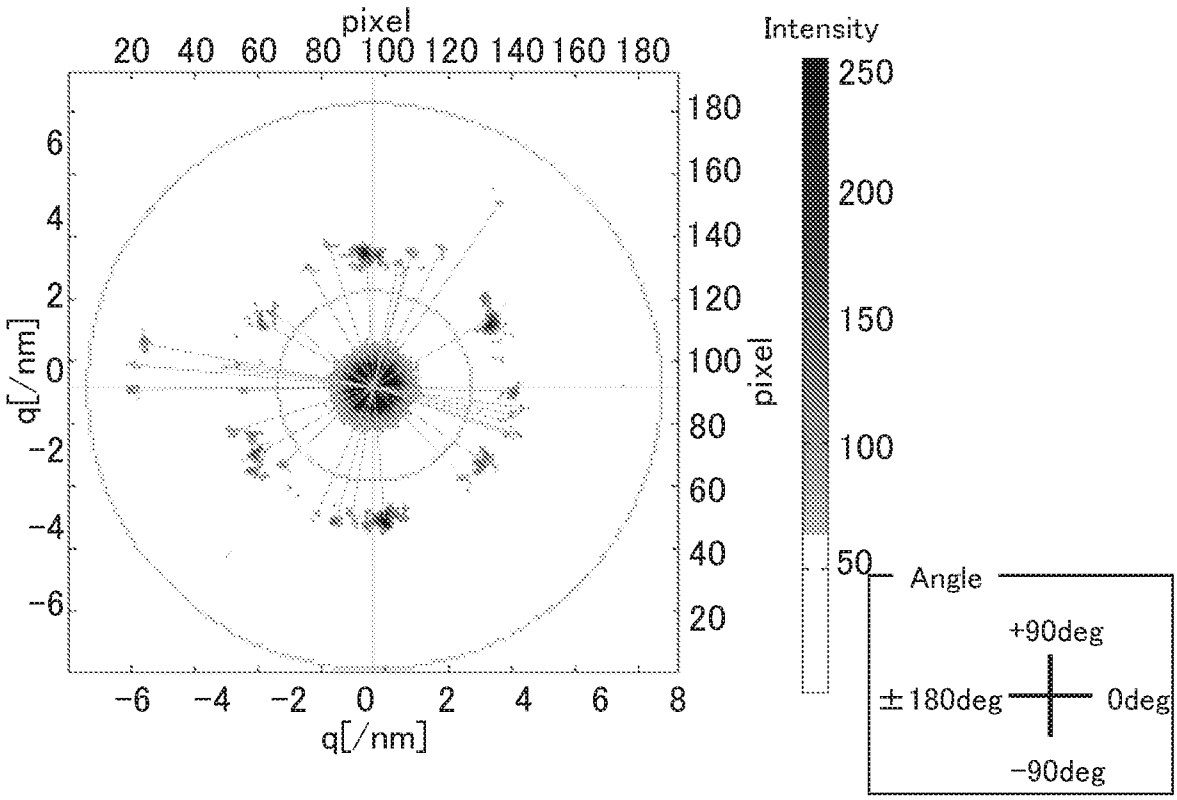

sample A3
pixel
20 40 60 80 100 120 140 160 180
q[/nm]
6 4 2 0 −2 −4 −6
−6 −4 −2 0 2 4 6 8
q[/nm]
180 160 140 120 100 80 60 40 20
pixel
Intensity
250 200 150 100 50
Angle
+90deg
±180deg
0deg
−90deg

図6B

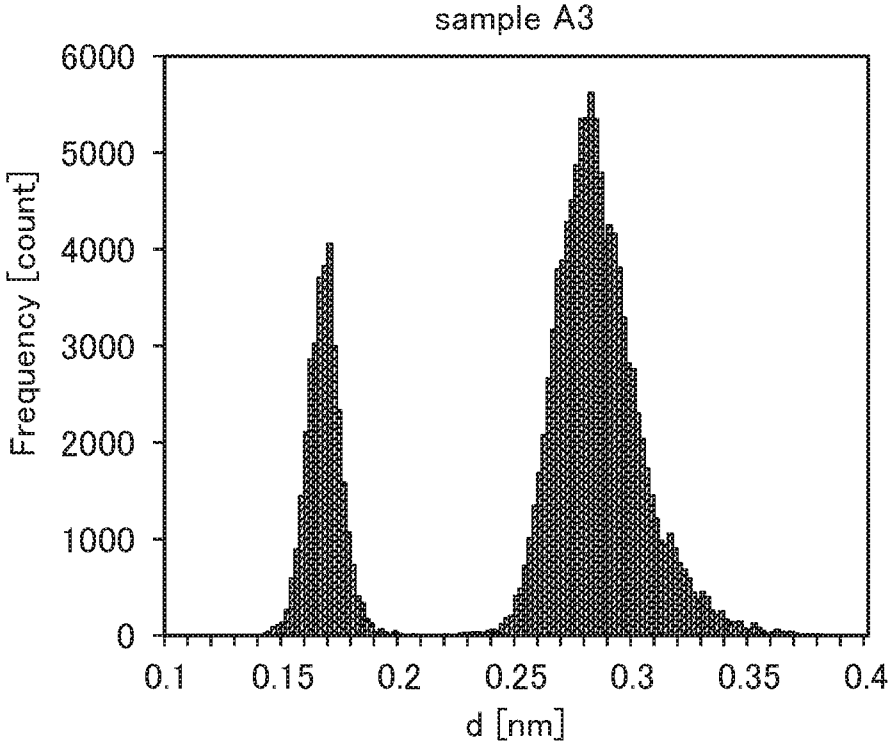

sample A3
Frequency [count]
6000 5000 4000 3000 2000 1000 0
0.1 0.15 0.2 0.25 0.3 0.35 0.4
d [nm]

図7A

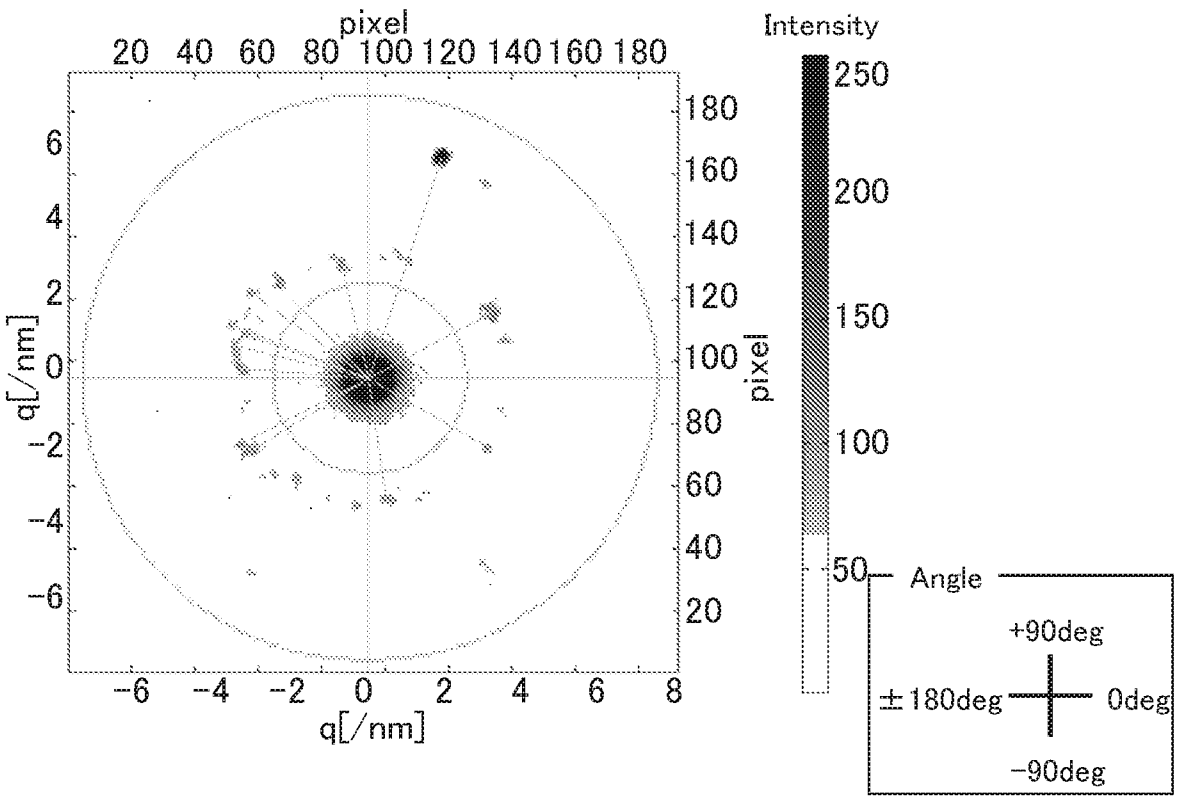

sample A4
pixel
20 40 60 80 100 120 140 160 180
q[/nm]
6 4 2 0 −2 −4 −6
−6 −4 −2 0 2 4 6 8
q[/nm]
180 160 140 120 100 80 60 40 20
pixel
Intensity
250
200
150
100
50
Angle
+90deg
±180deg
0deg
−90deg

図7B

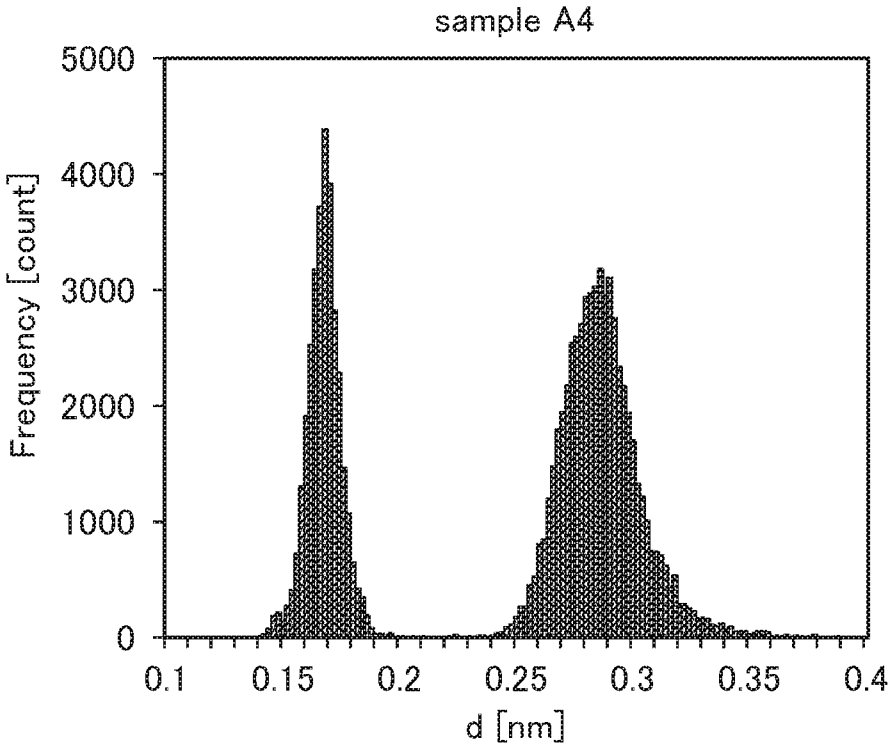

sample A4
Frequency [count]
5000
4000
3000
2000
1000
0
0.1 0.15 0.2 0.25 0.3 0.35 0.4
d [nm]

図8A

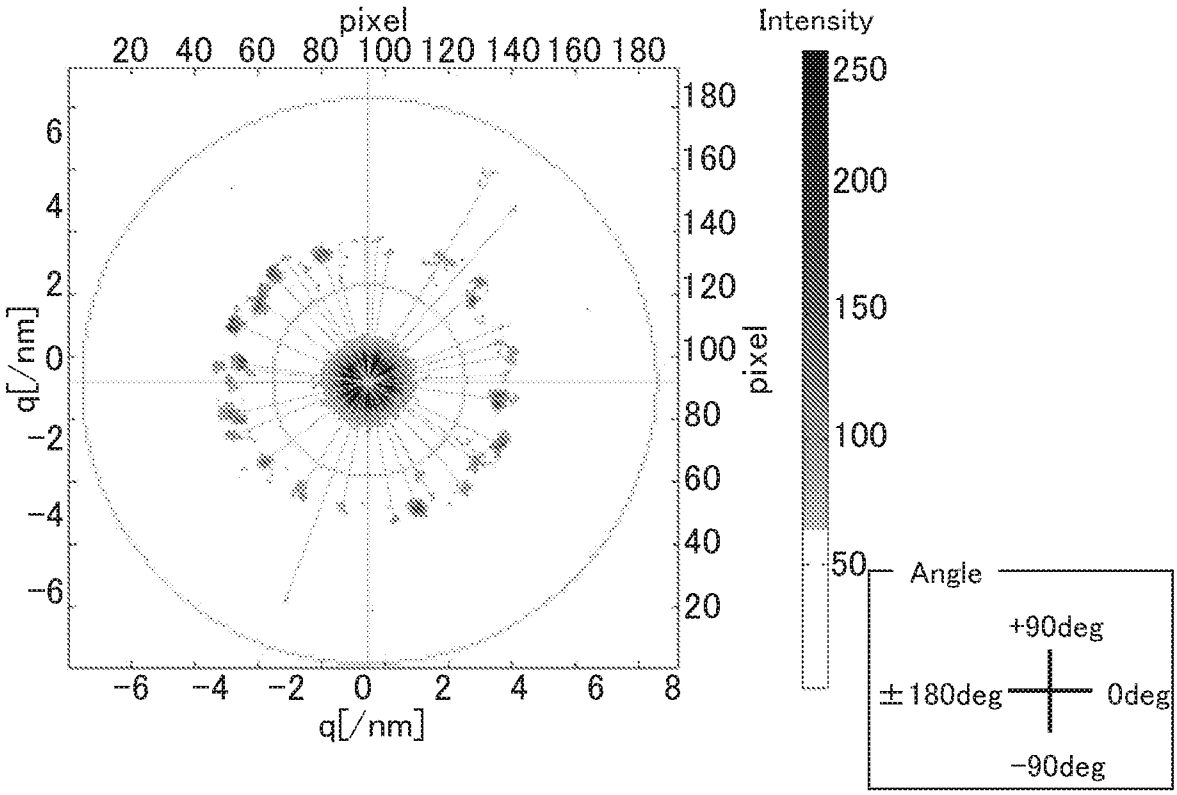

sample A5
pixel
20 40 60 80 100 120 140 160 180
q[/nm]
6 4 2 0 −2 −4 −6
−6 −4 −2 0 2 4 6 8
q[/nm]
pixel
180 160 140 120 100 80 60 40 20
Intensity
250 200 150 100 50
Angle
+90deg
±180deg
0deg
−90deg

図8B

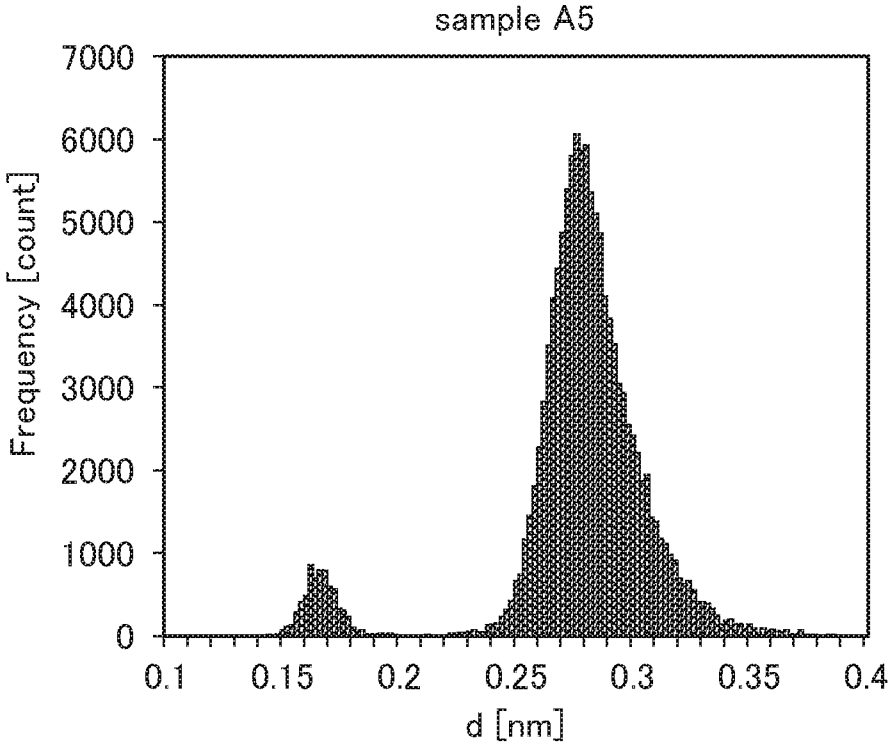

sample A5
Frequency [count]
7000 6000 5000 4000 3000 2000 1000 0
0.1 0.15 0.2 0.25 0.3 0.35 0.4
d [nm]

図9A

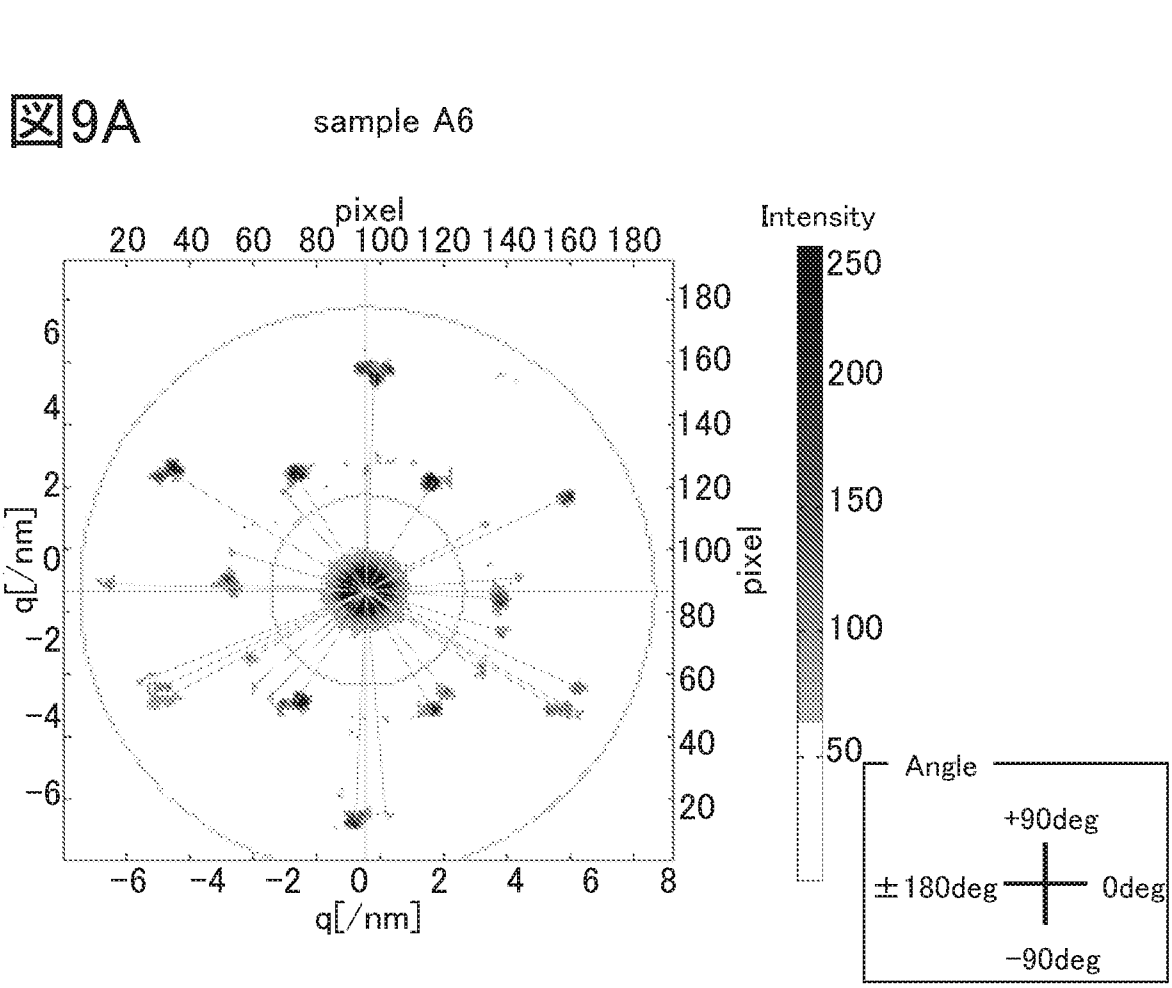

sample A6
pixel
20 40 60 80 100 120 140 160 180
q[/nm]
6 4 2 0 −2 −4 −6
−6 −4 −2 0 2 4 6 8
q[/nm]
pixel
180 160 140 120 100 80 60 40 20
Intensity
250 200 150 100 50
Angle
+90deg
±180deg
0deg
−90deg

図9B

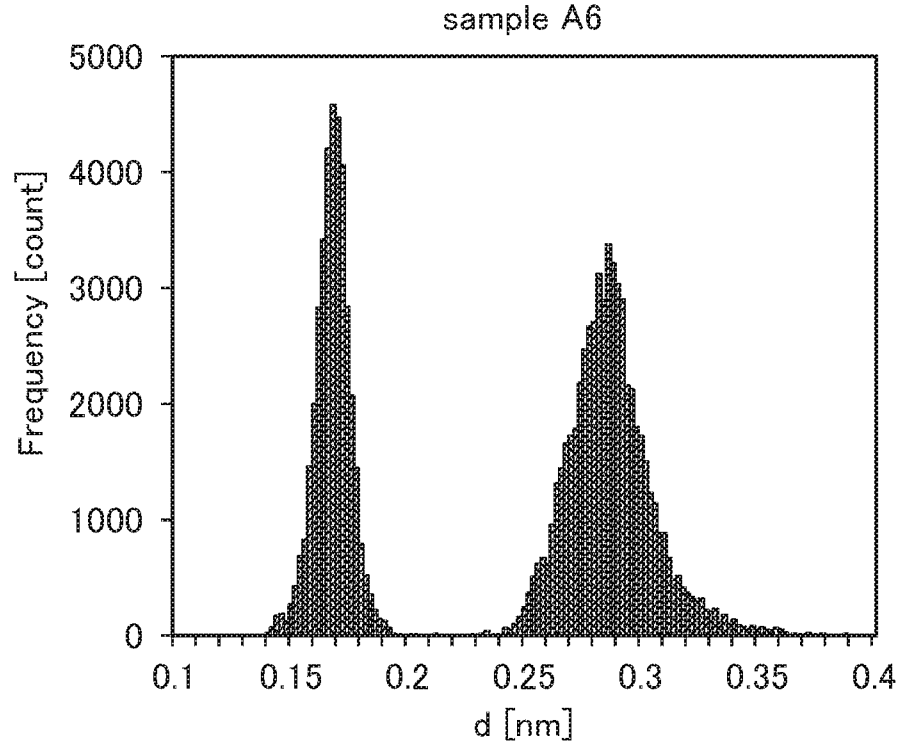
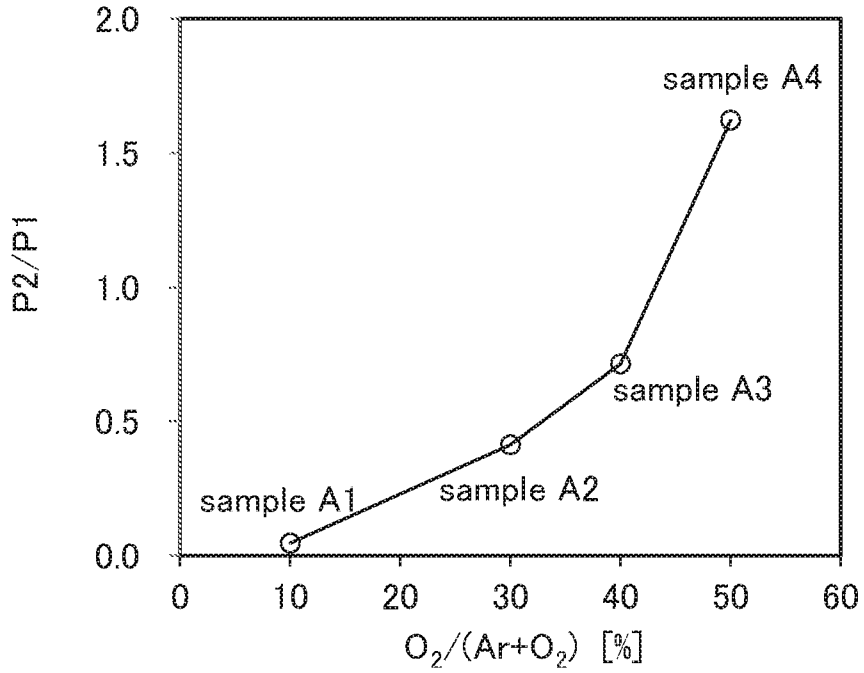

sample A6
Frequency [count]
5000 4000 3000 2000 1000 0
0.1 0.15 0.2 0.25 0.3 0.35 0.4
d [nm]

図10


2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
P2/P1
0
10
20
30
40
50
60
$O_2/(Ar+O_2)$ [%]
sample A1
sample A2
sample A3
sample A4

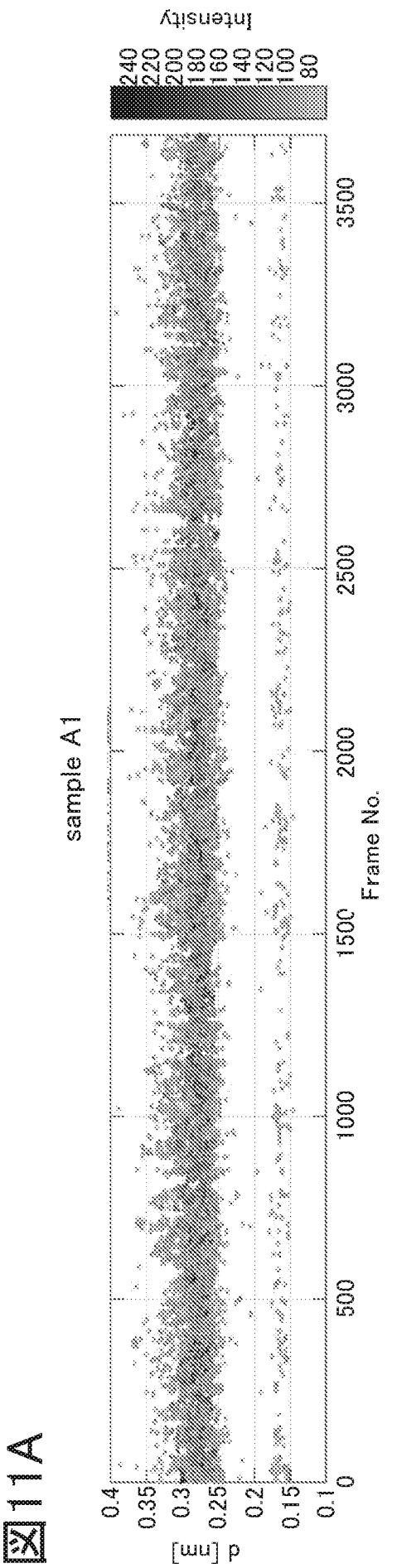

Intensity
240
220
200
180
160
140
120
100
80
sample A1
d [nm]
0.4
0.35
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
Frame No.

図11A

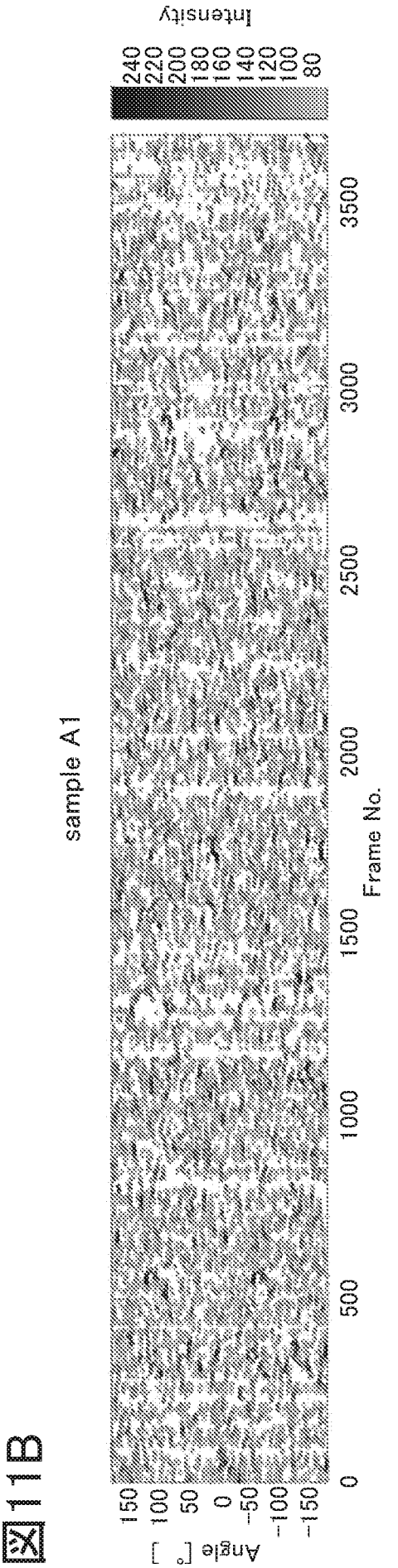

Intensity
240
220
200
180
160
140
120
100
80
sample A1
Angle [°]
150
100
50
0
−50
−100
−150
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
Frame No.

図11B

図12A

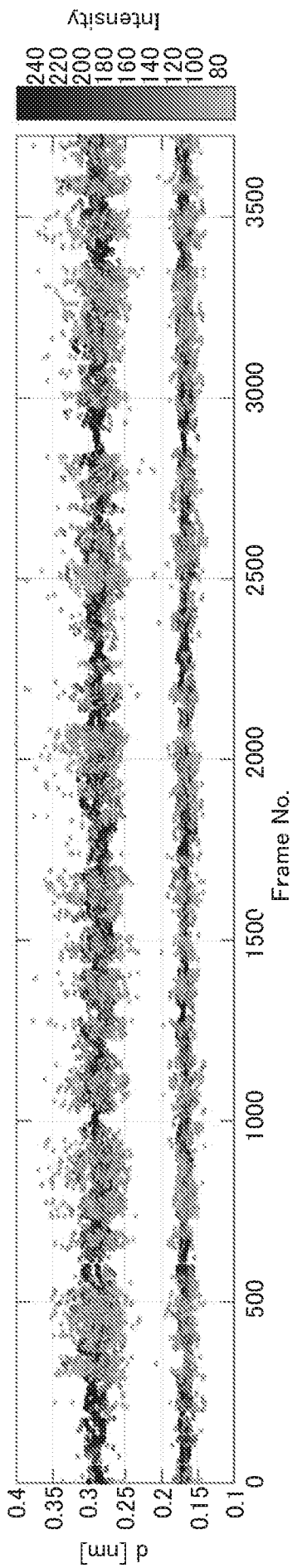

sample A6
d [nm]
0.4
0.35
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
Frame No.
Intensity
240
220
200
180
160
140
120
100
80

図12B

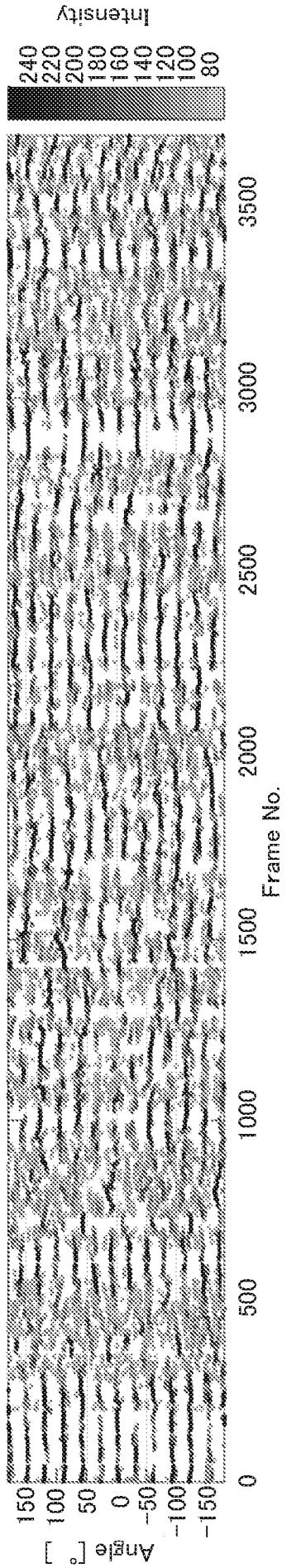

sample A6
Angle [°]
150
100
50
0
−50
−100
−150
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
Frame No.
Intensity
240
220
200
180
160
140
120
100
80

図13A

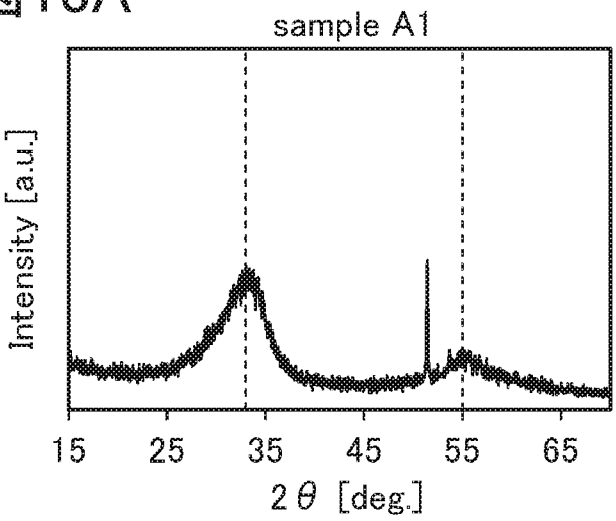


図13B

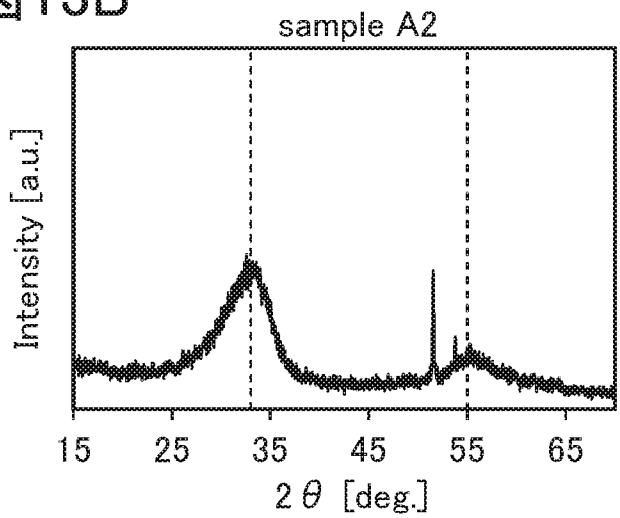


図13C

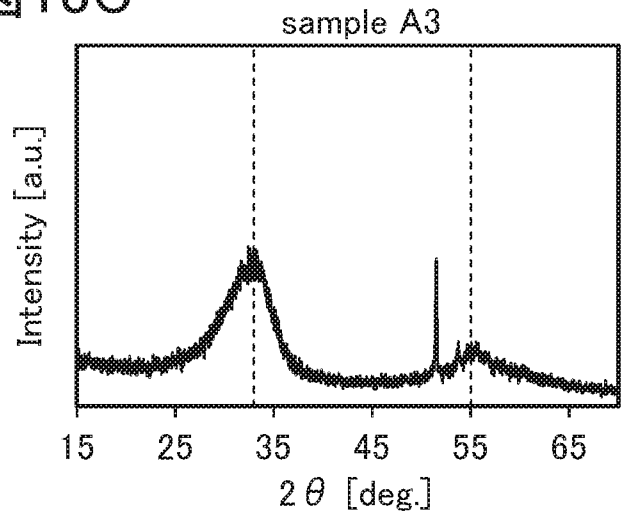


図14A

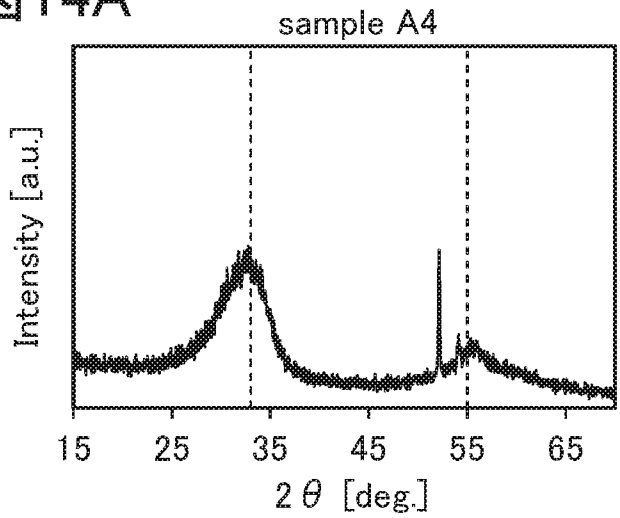


図14B

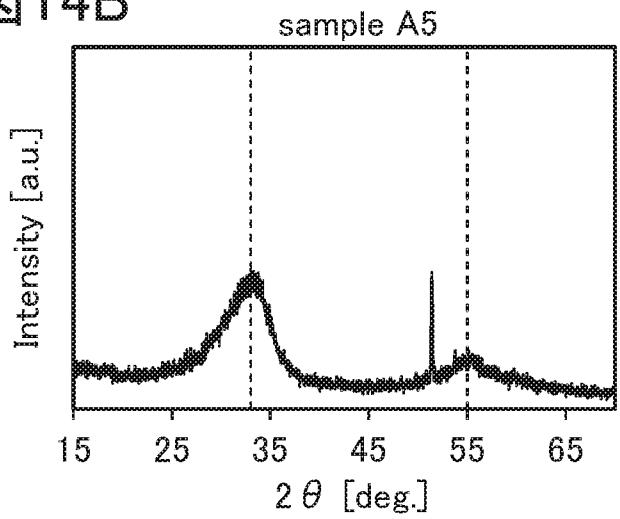


図14C

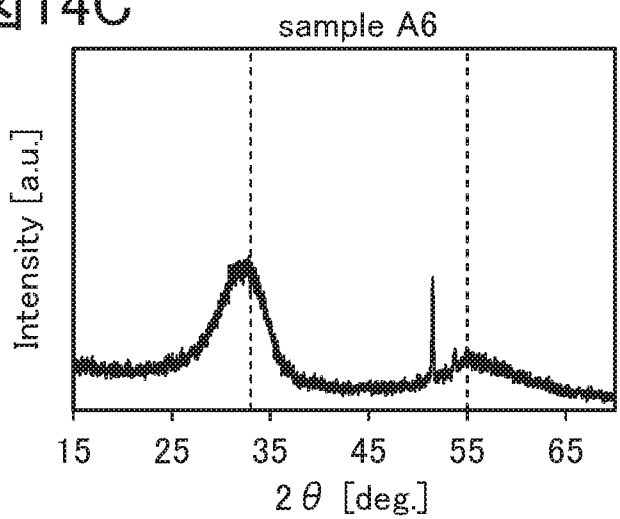


図15A

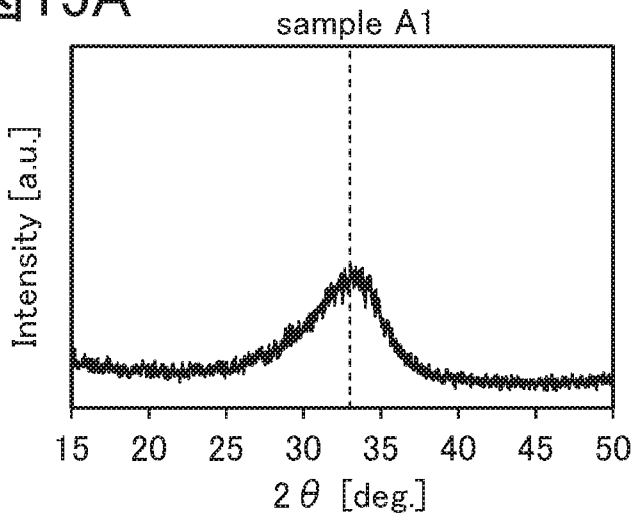


図15B

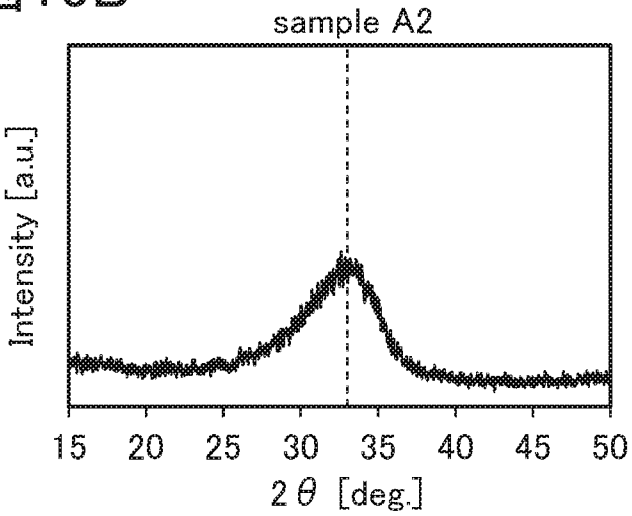


図15C

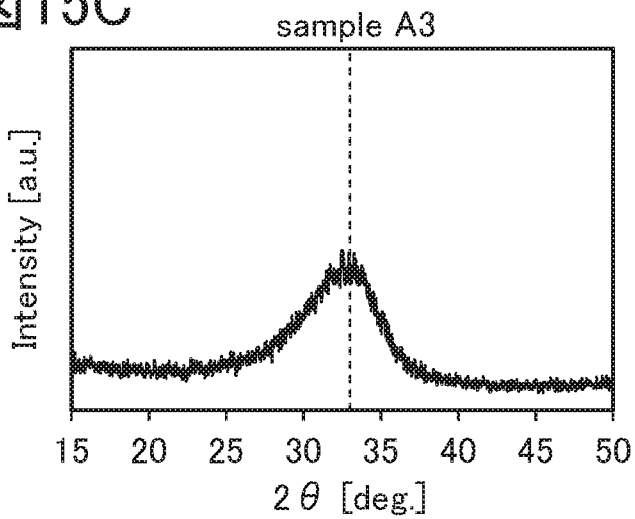


図16A

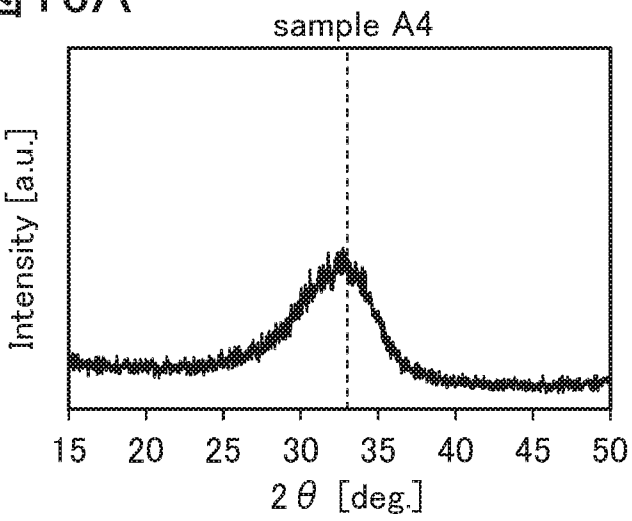


図16B

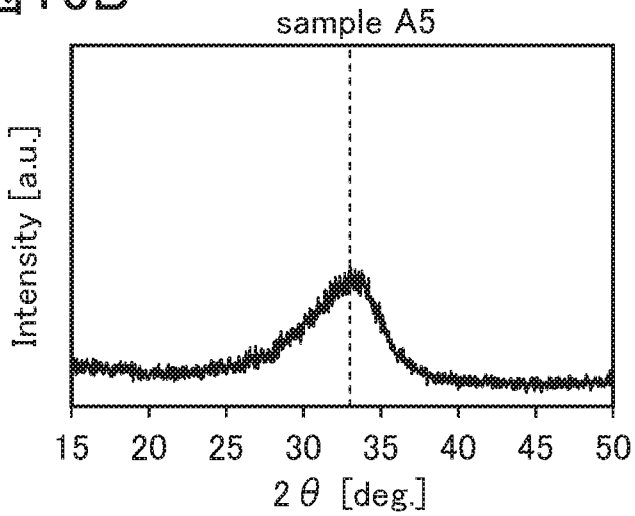


図16C

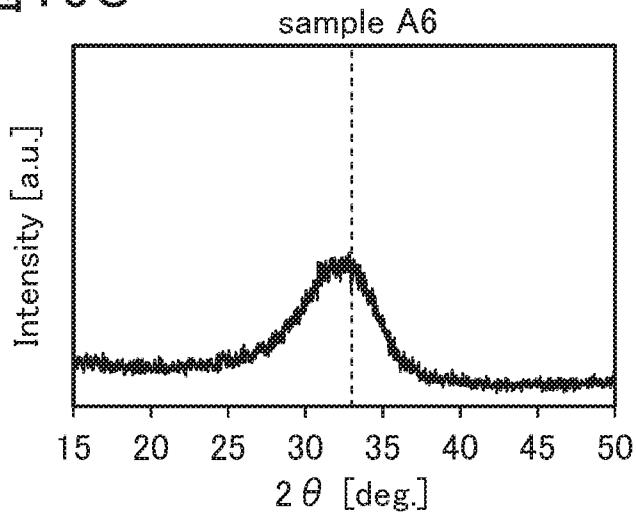


図17

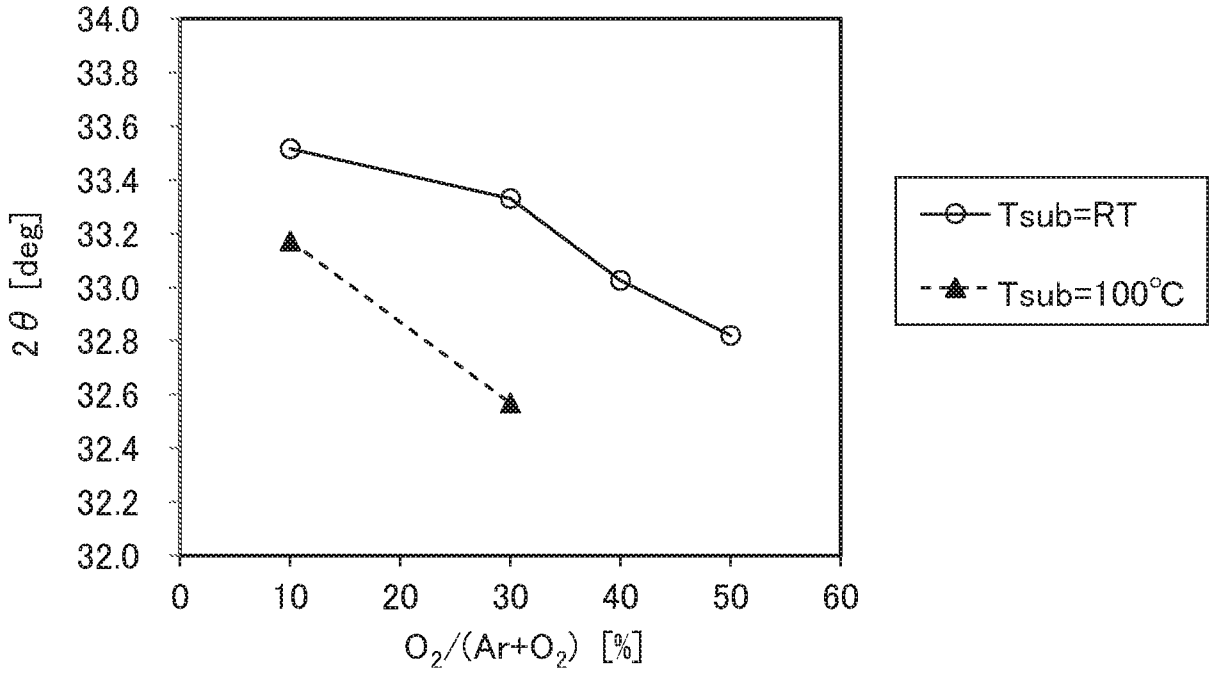
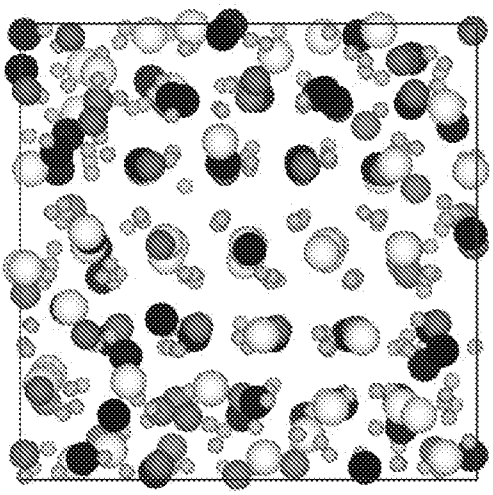
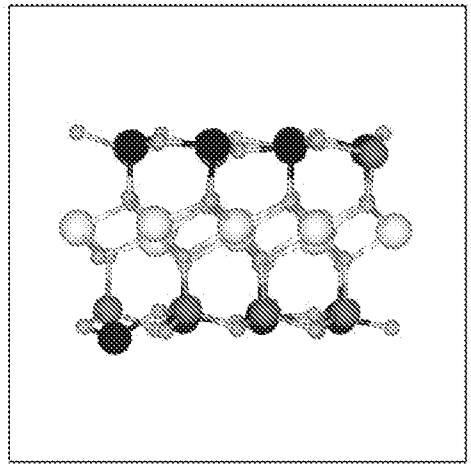

34.0
33.8
33.6
33.4
33.2
33.0
32.8
32.6
32.4
32.2
32.0
2θ [deg]
0
10
20
30
40
50
60
O2/(Ar+O2) [%]
Tsub=RT
Tsub=100°C

図18A



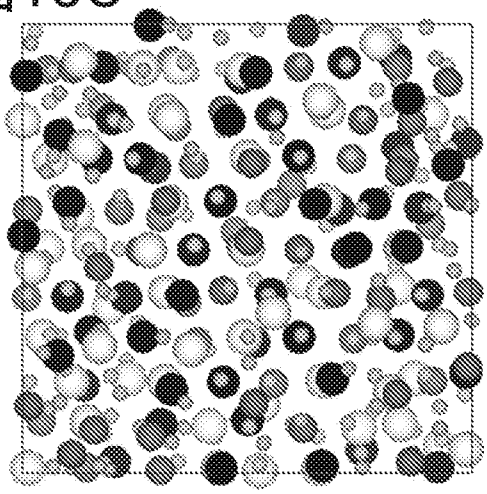
○: In ●: Ga ◍: Zn ◦: O

図18B



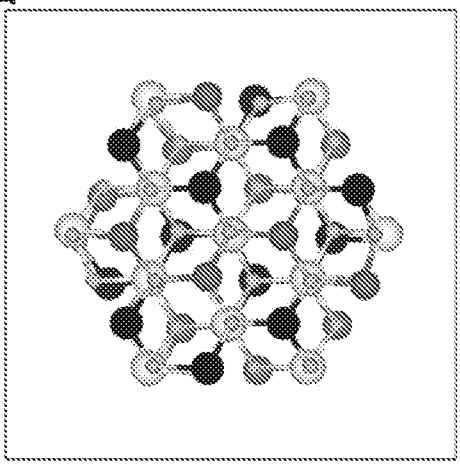
○: In ●: Ga ◍: Zn ◦: O

図18C



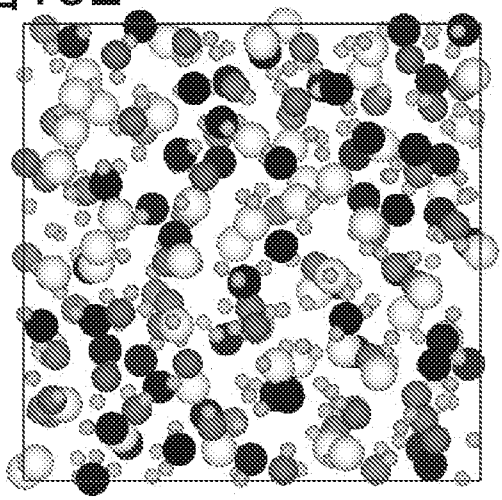
○: In ●: Ga ◍: Zn ◦: O

図18D



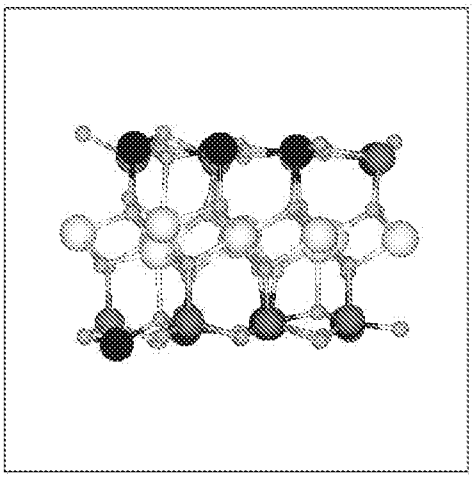
○: In ●: Ga ◍: Zn ◦: O

図18E



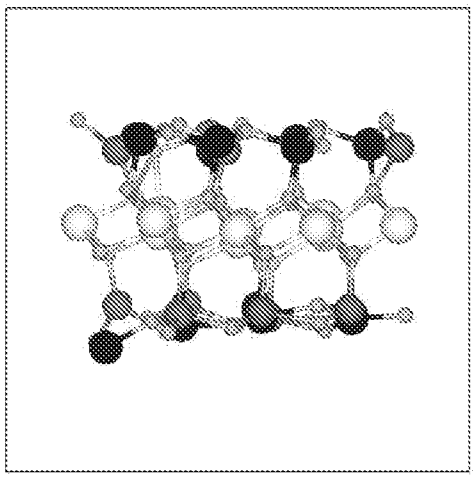
○: In ●: Ga ◍: Zn ◦: O

図19A



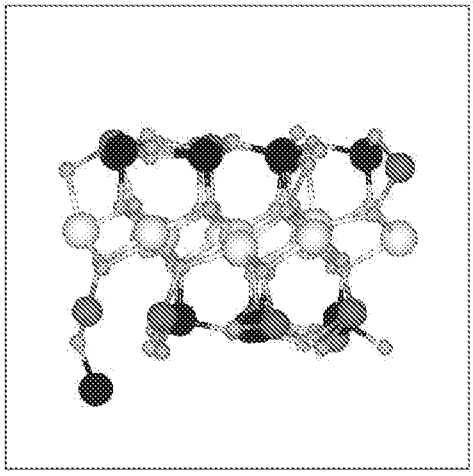
○：In ●：Ga ●：Zn ●：O

図19B



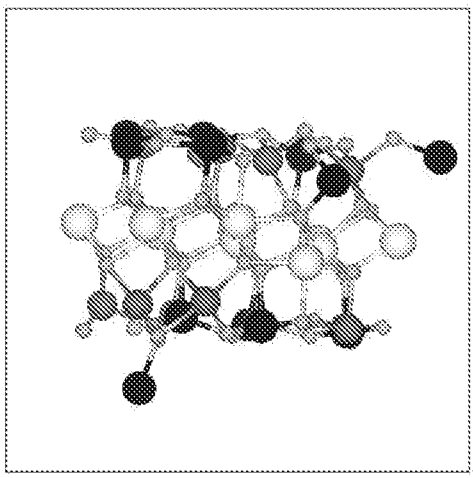
○：In ●：Ga ●：Zn ●：O

図19C



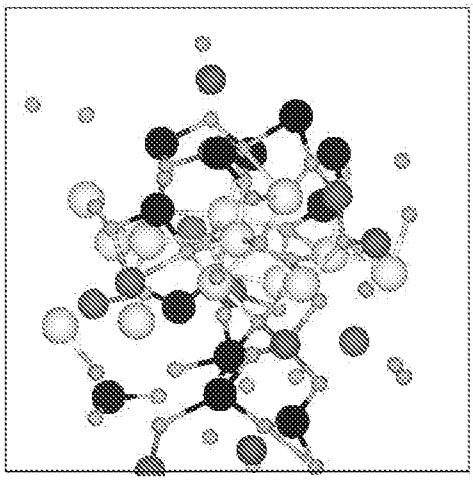
○：In ●：Ga ●：Zn ●：O

図19D



○：In ●：Ga ●：Zn ●：O

図19E



○：In ●：Ga ●：Zn ●：O

図20A

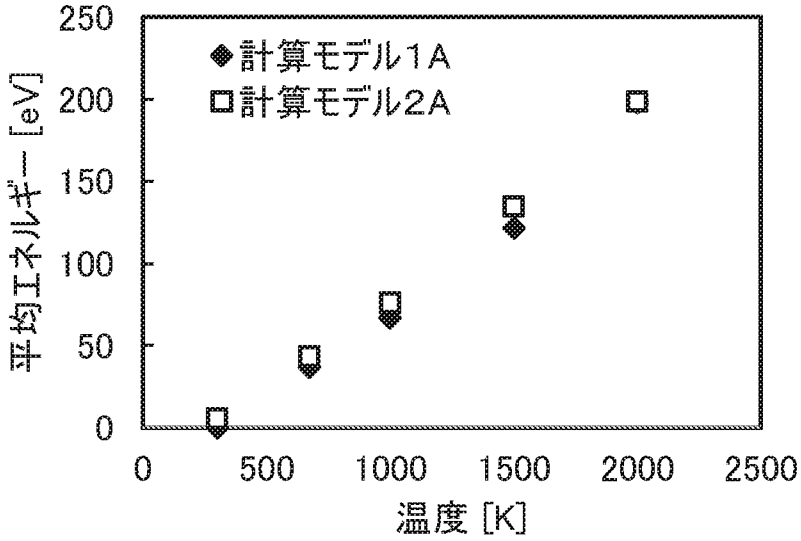

250
200
150
100
50
0
◆計算モデル1A
□計算モデル2A
平均エネルギー [eV]
0
500
1000
1500
2000
2500
温度 [K]

図20B

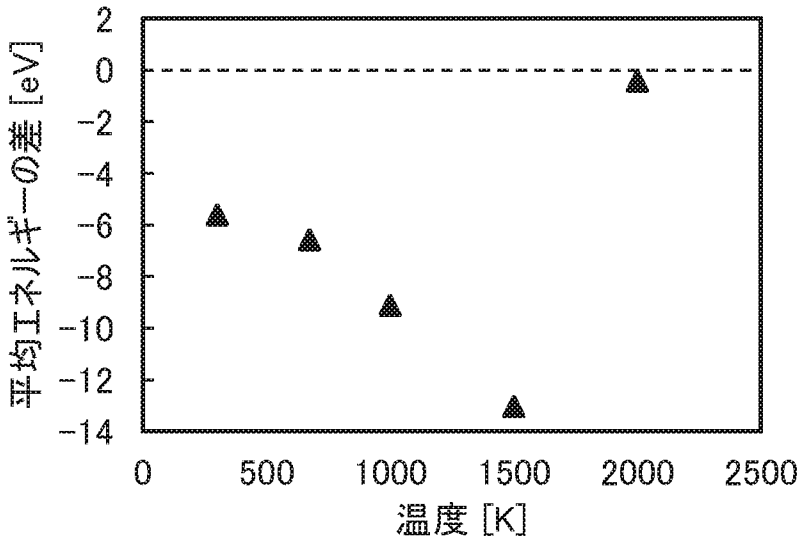

2
0
−2
−4
−6
−8
−10
−12
−14
平均エネルギーの差 [eV]
0
500
1000
1500
2000
2500
温度 [K]

図21

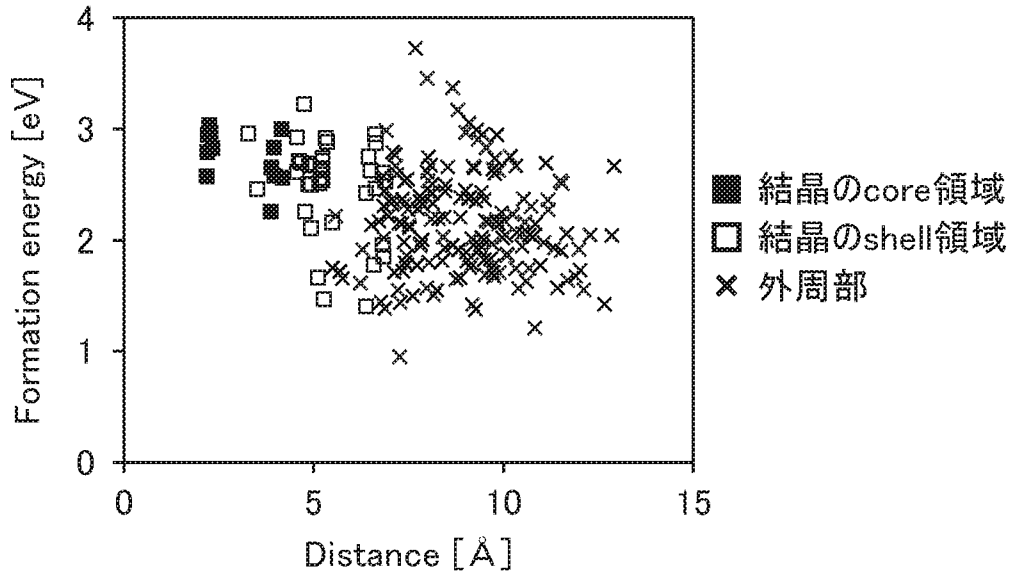

Formation energy [eV]
Distance [Å]
0
1
2
3
4
0
5
10
15
結晶のcore領域
結晶のshell領域
外周部

図22A

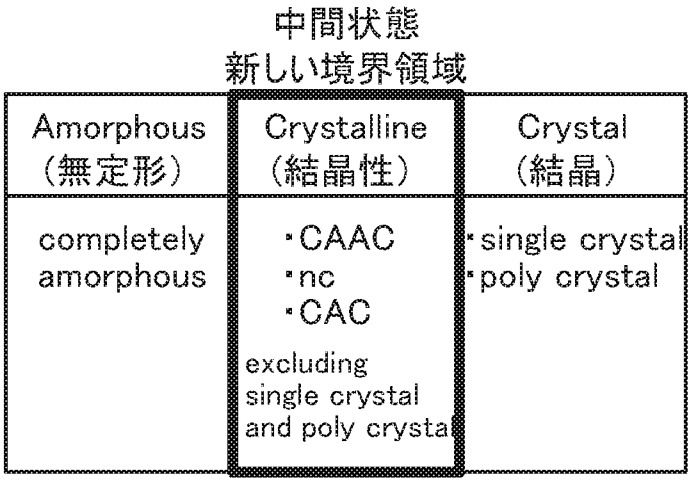


図22B

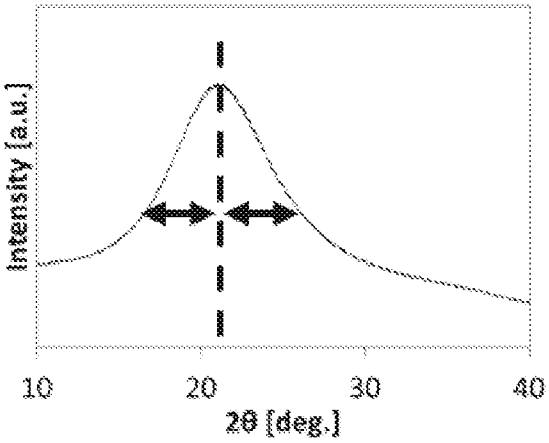


図22C

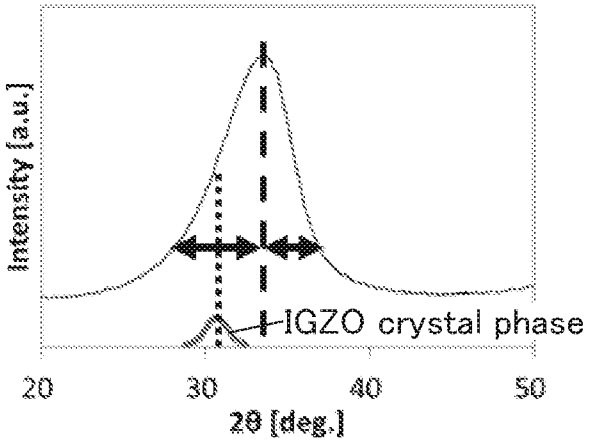


図22D

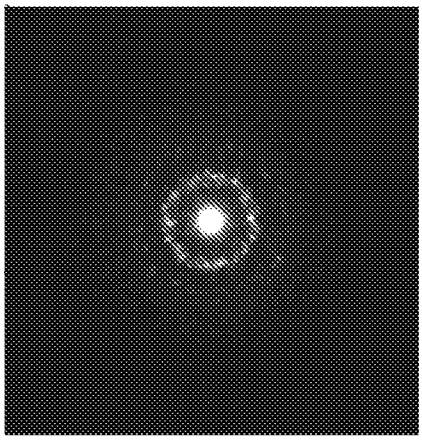


図23A

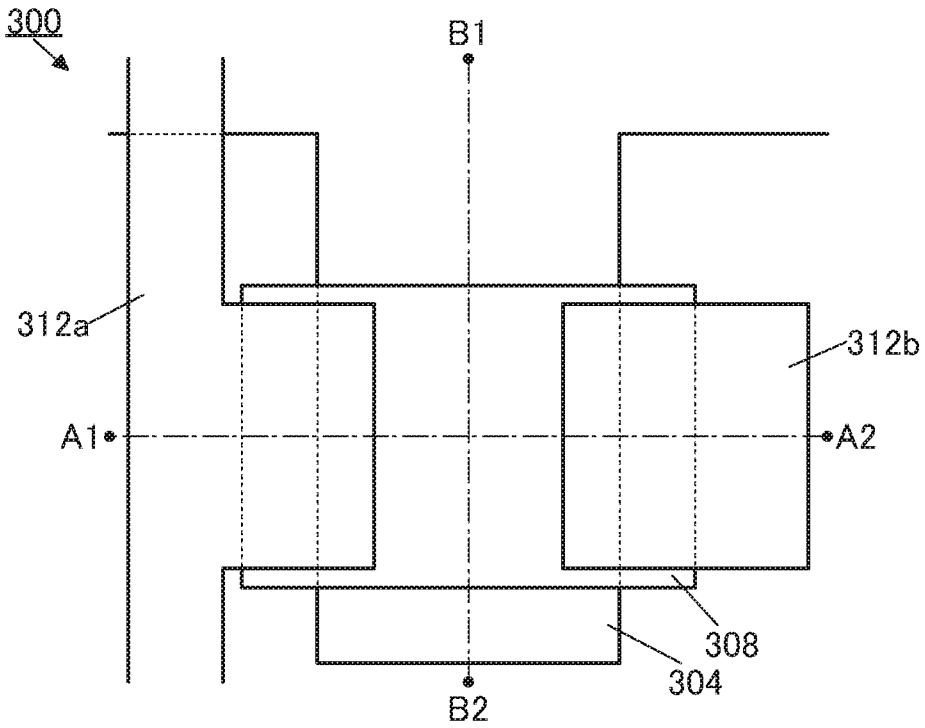


図23B

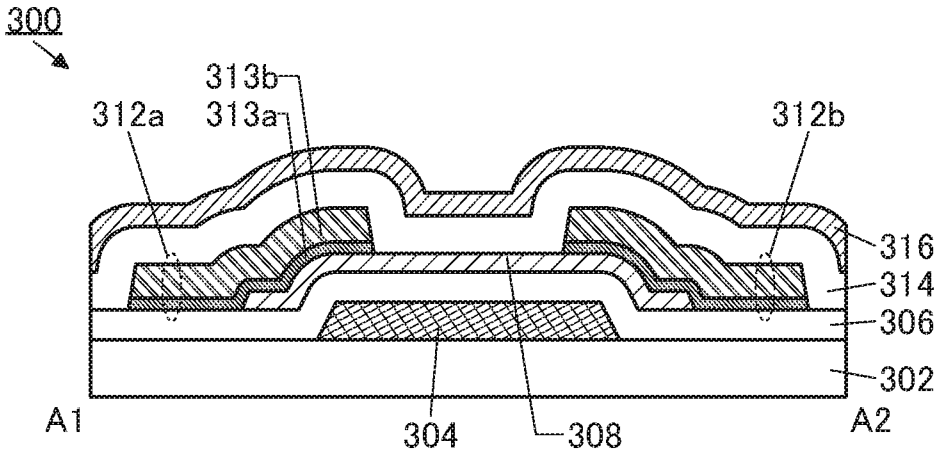


図23C

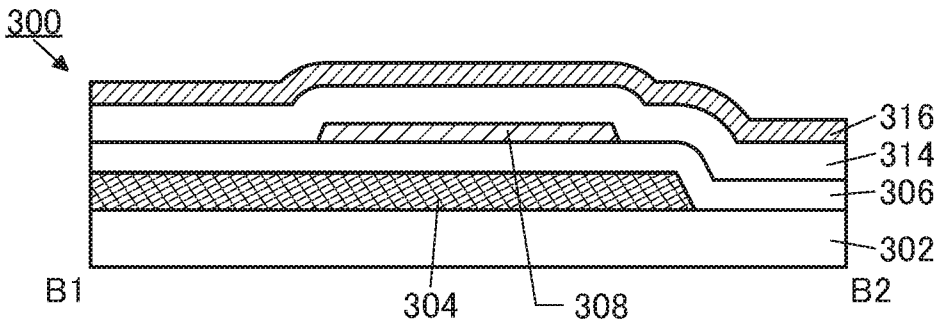


図24A

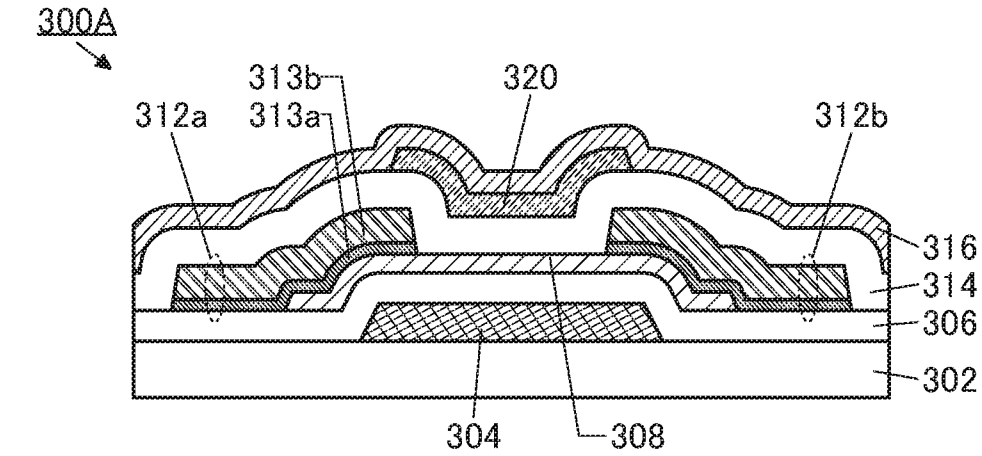

300A
313b
320
312a
313a
312b
316
314
306
302
304
308

図24B

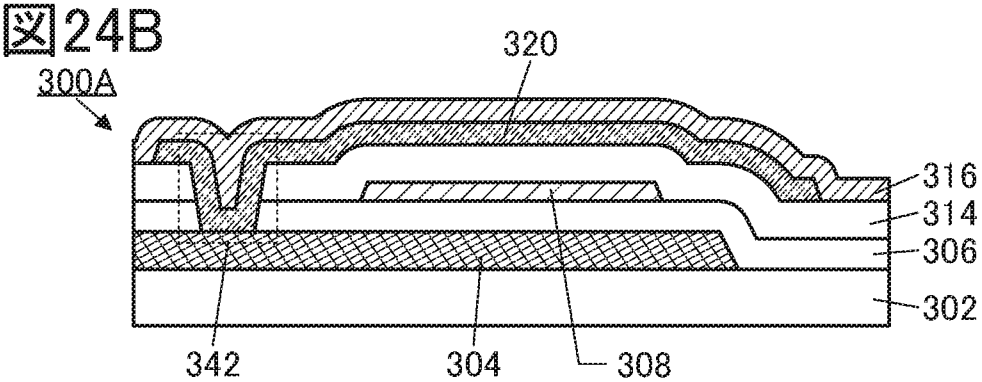

300A
320
316
314
306
302
342
304
308

図25A

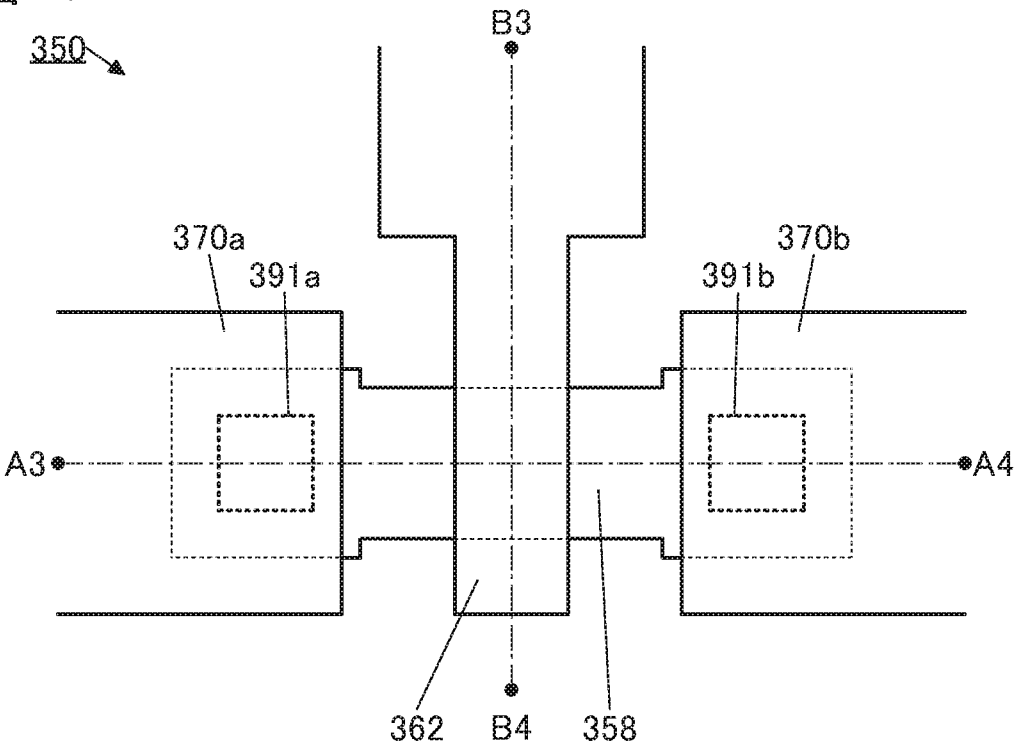


図25B

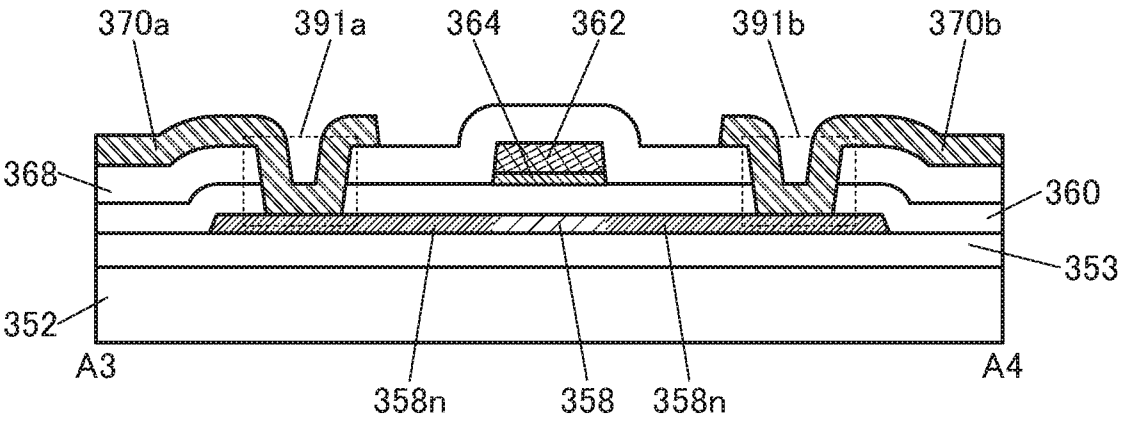


図25C

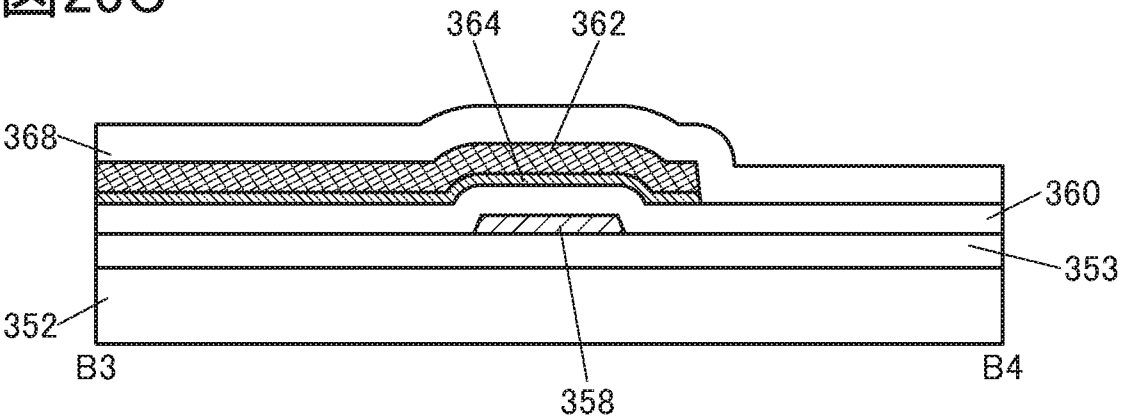


図26A

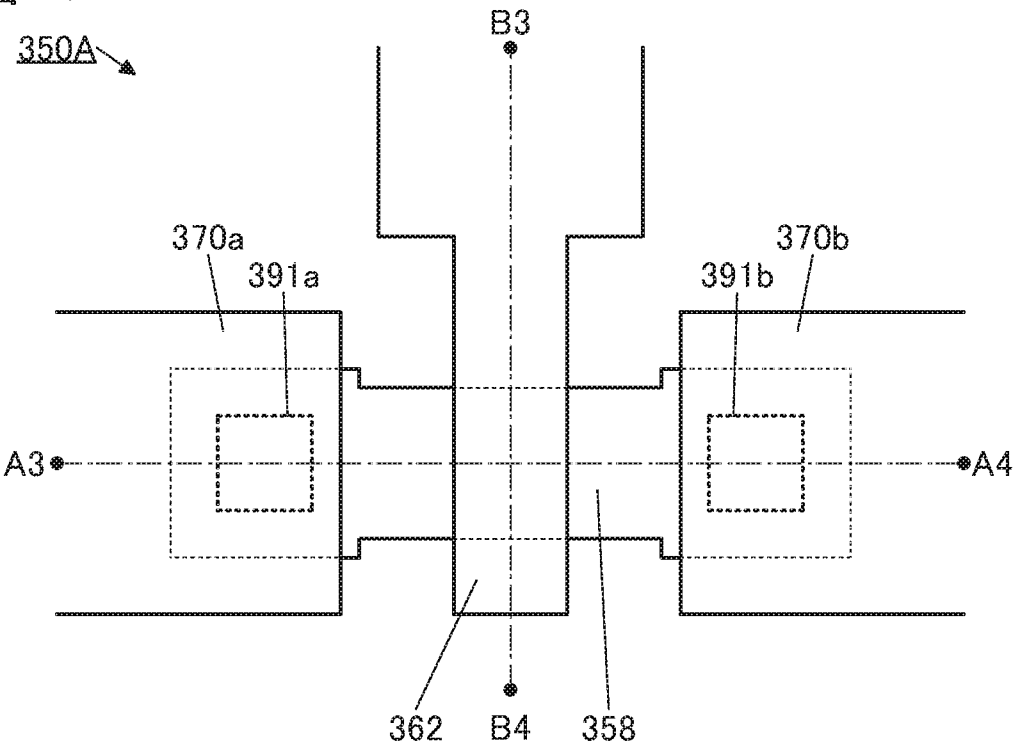


図26B

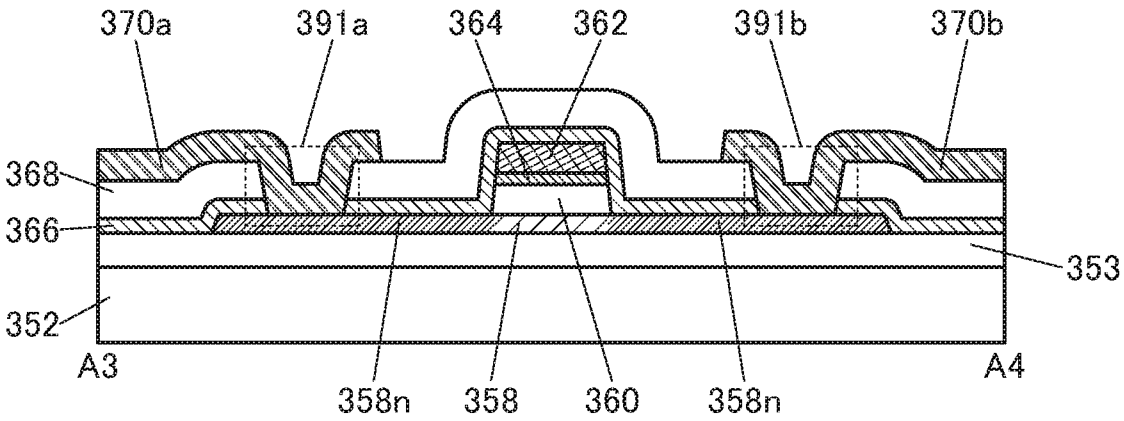


図26C

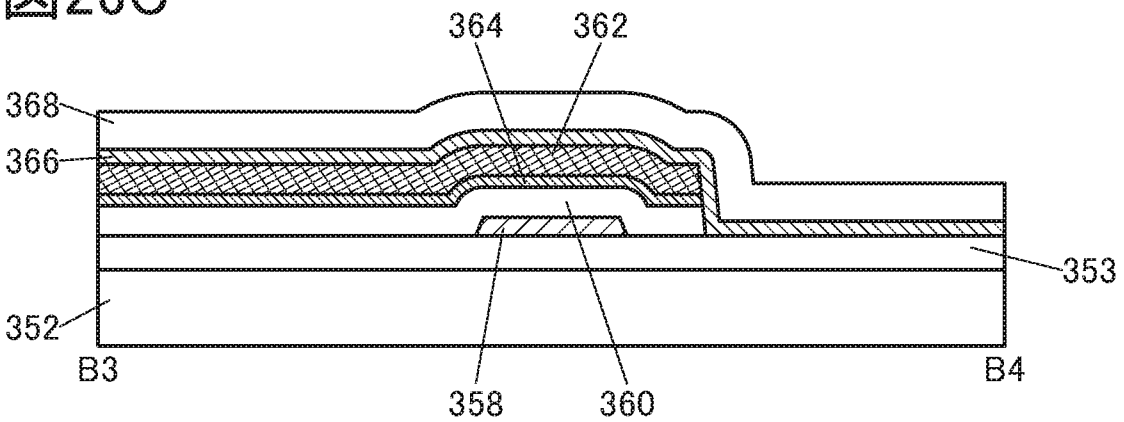


図27A

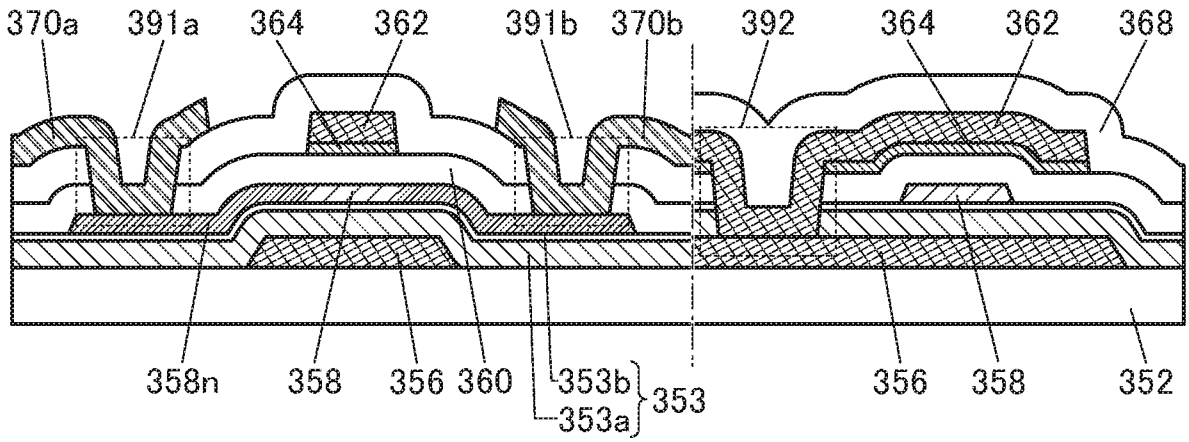

350B
370a
391a
364
362
391b
370b
392
364
362
368
358n
358
356
360
353b
353a
353
356
358
352

図27B

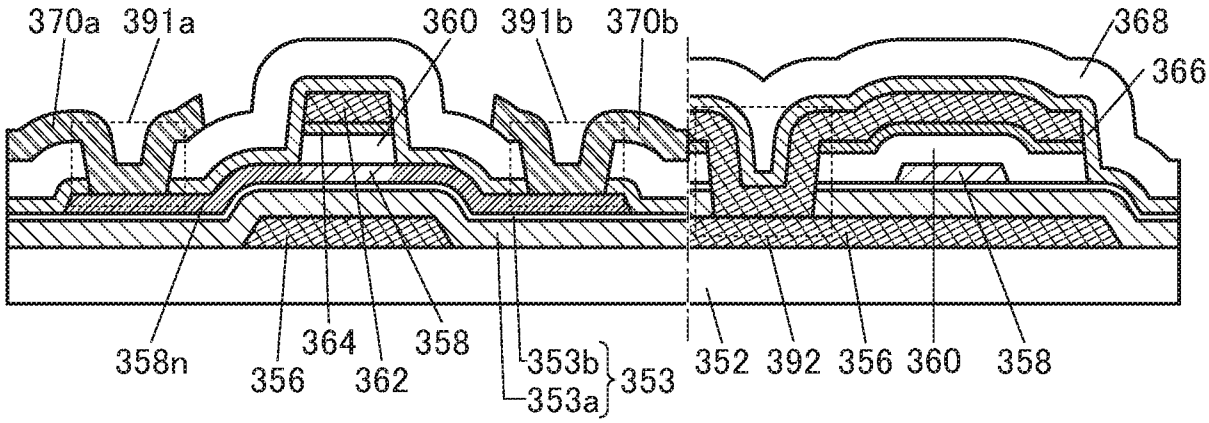

350C
370a
391a
360
391b
370b
368
366
358n
356
364
362
358
353b
353a
353
352
392
356
360
358

図28A

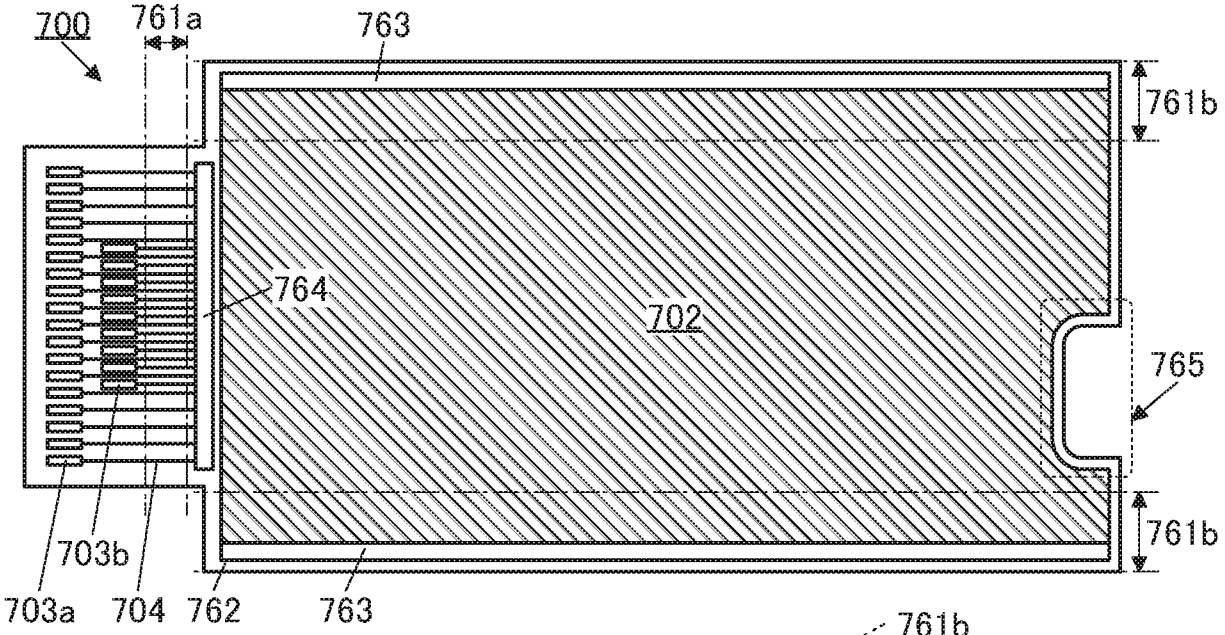


図28B

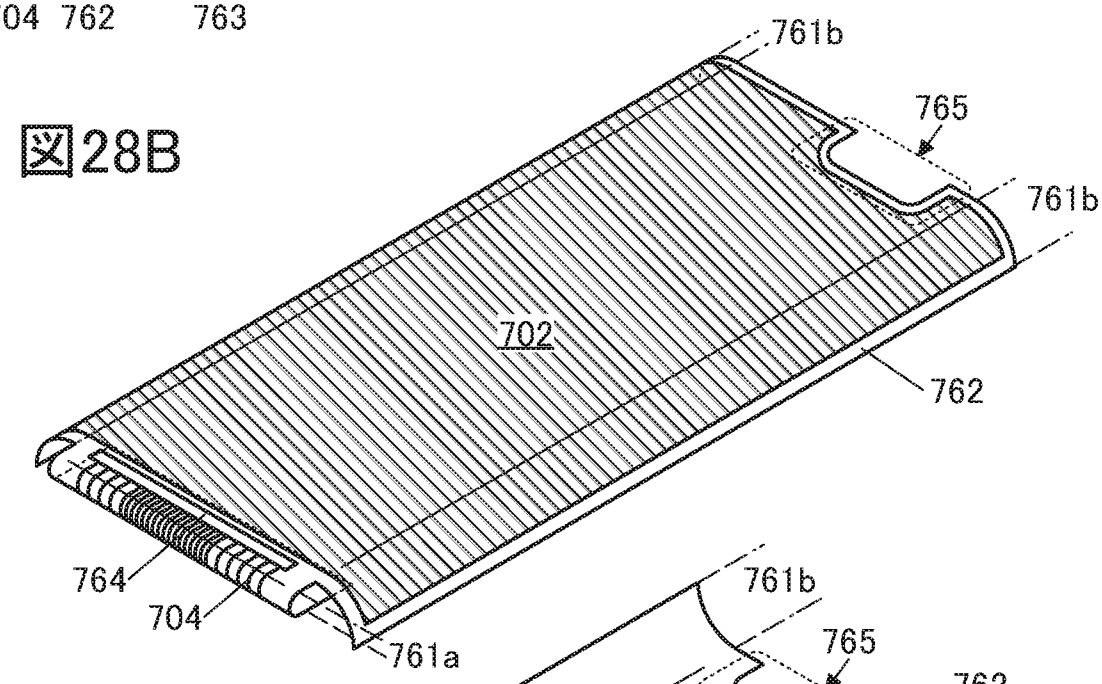
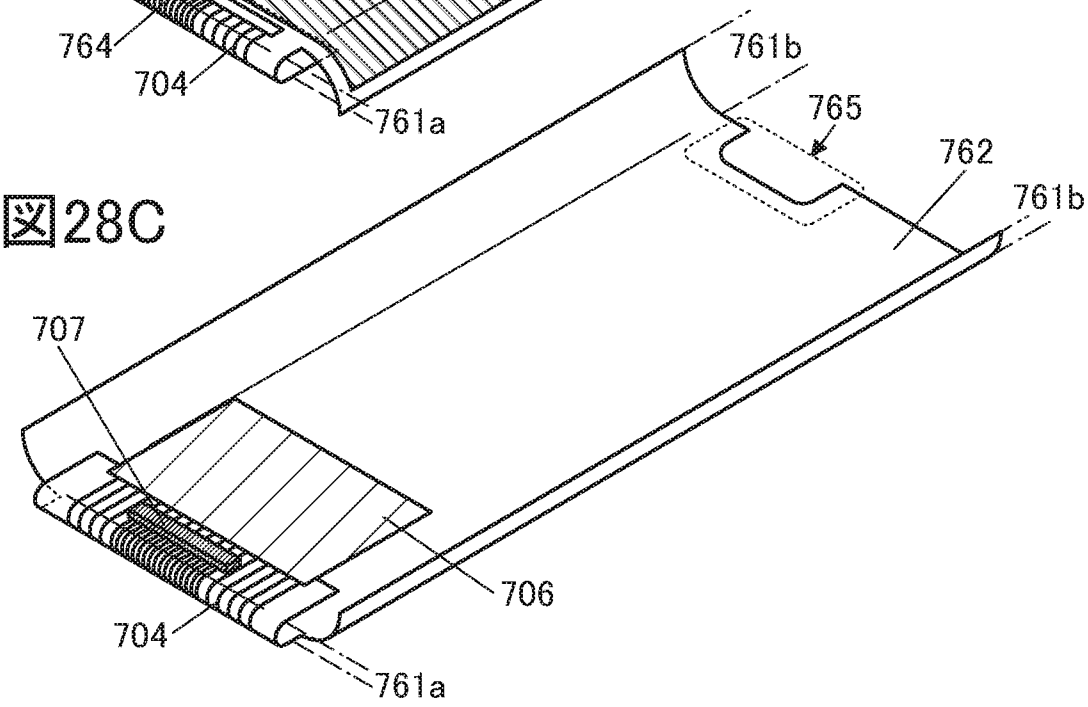


図28C



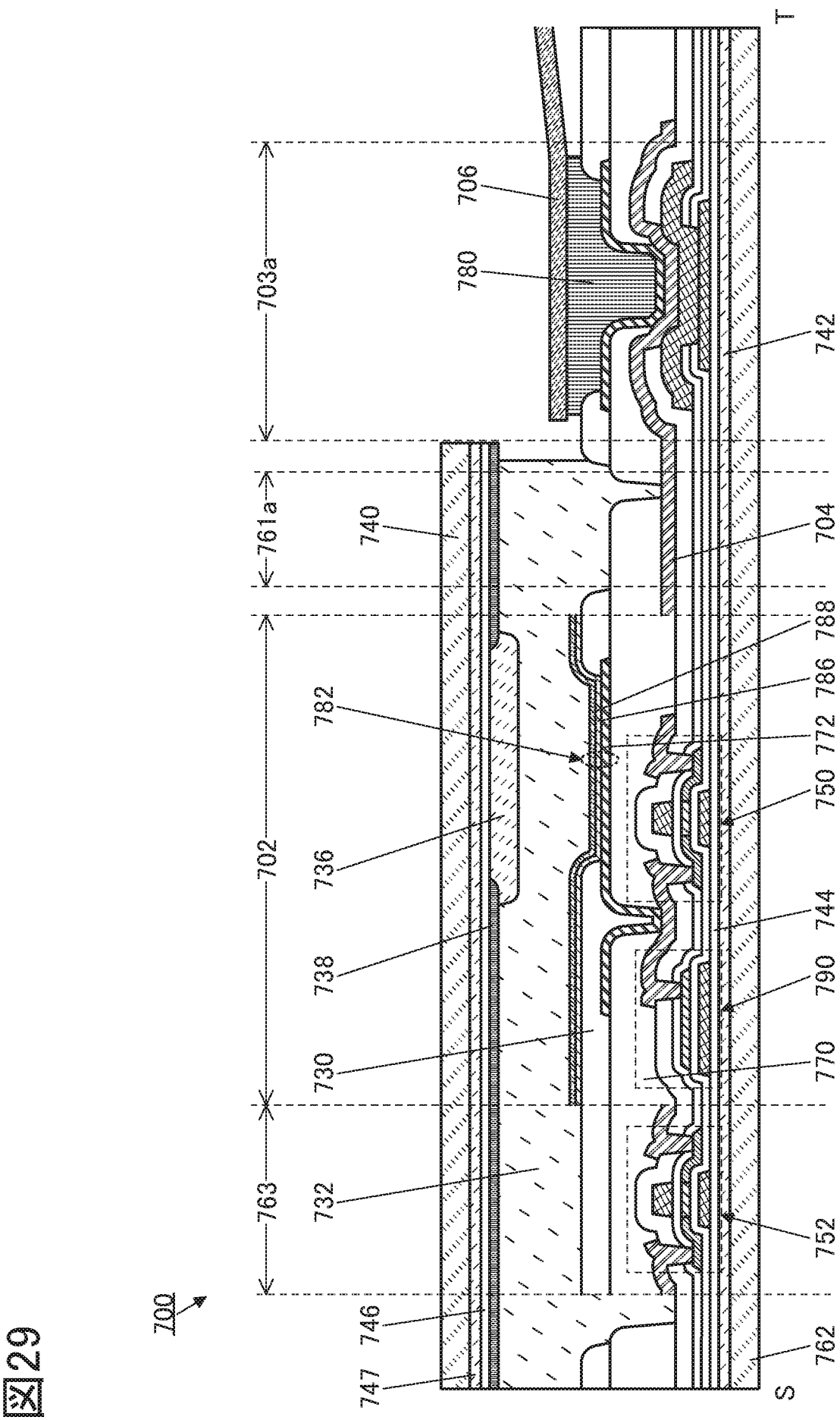

700
703a
761a
702
763
706
780
742
740
704
788
786
782
772
750
736
744
738
790
730
770
732
752
746
747
762
T
S

図29

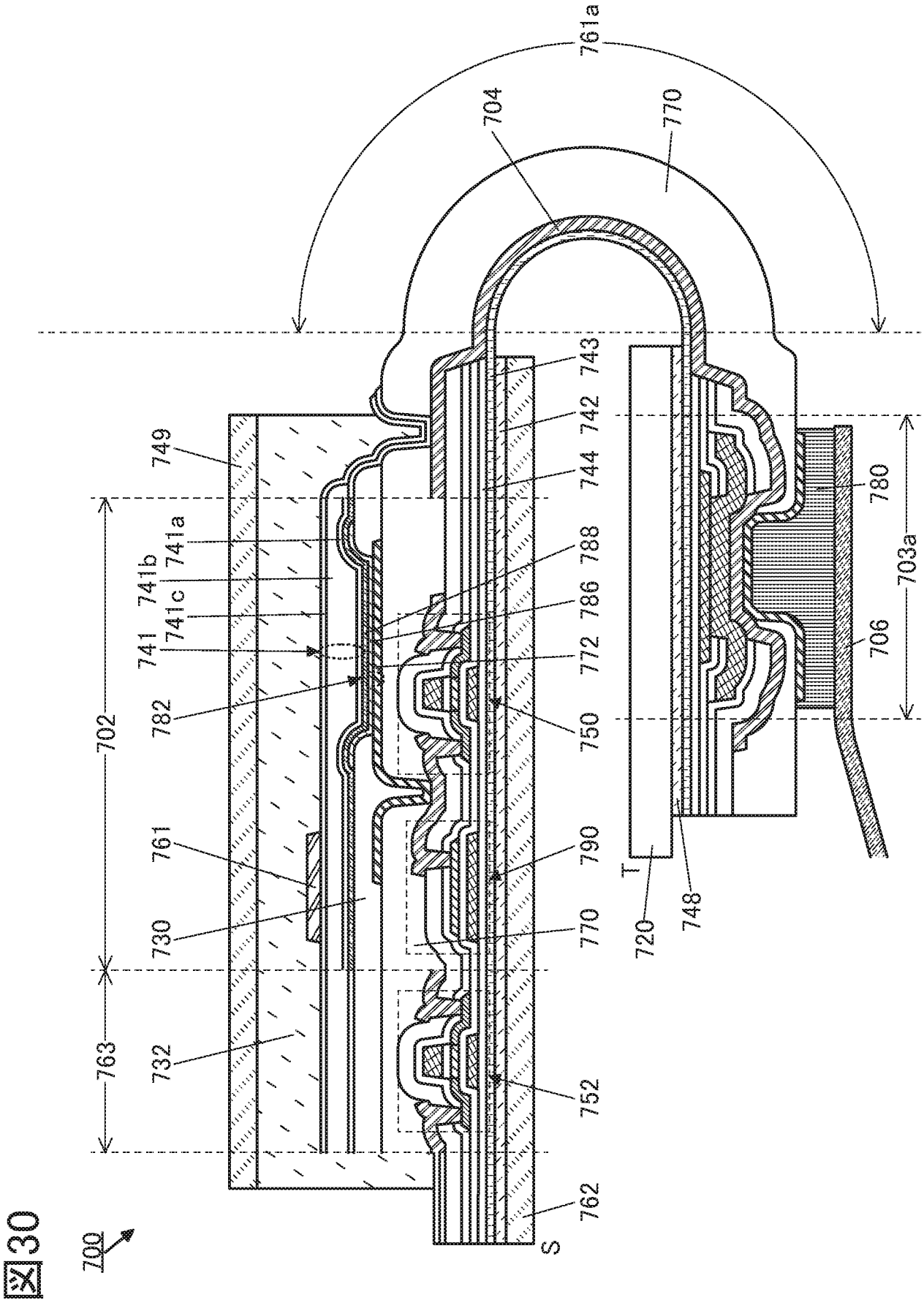

761a
704
770
743
742
744
749
780
703a
741a
741b
741c
741
788
786
772
706
782
750
702
761
790
730
770
720
748
T
763
732
752
762
S
700

図30

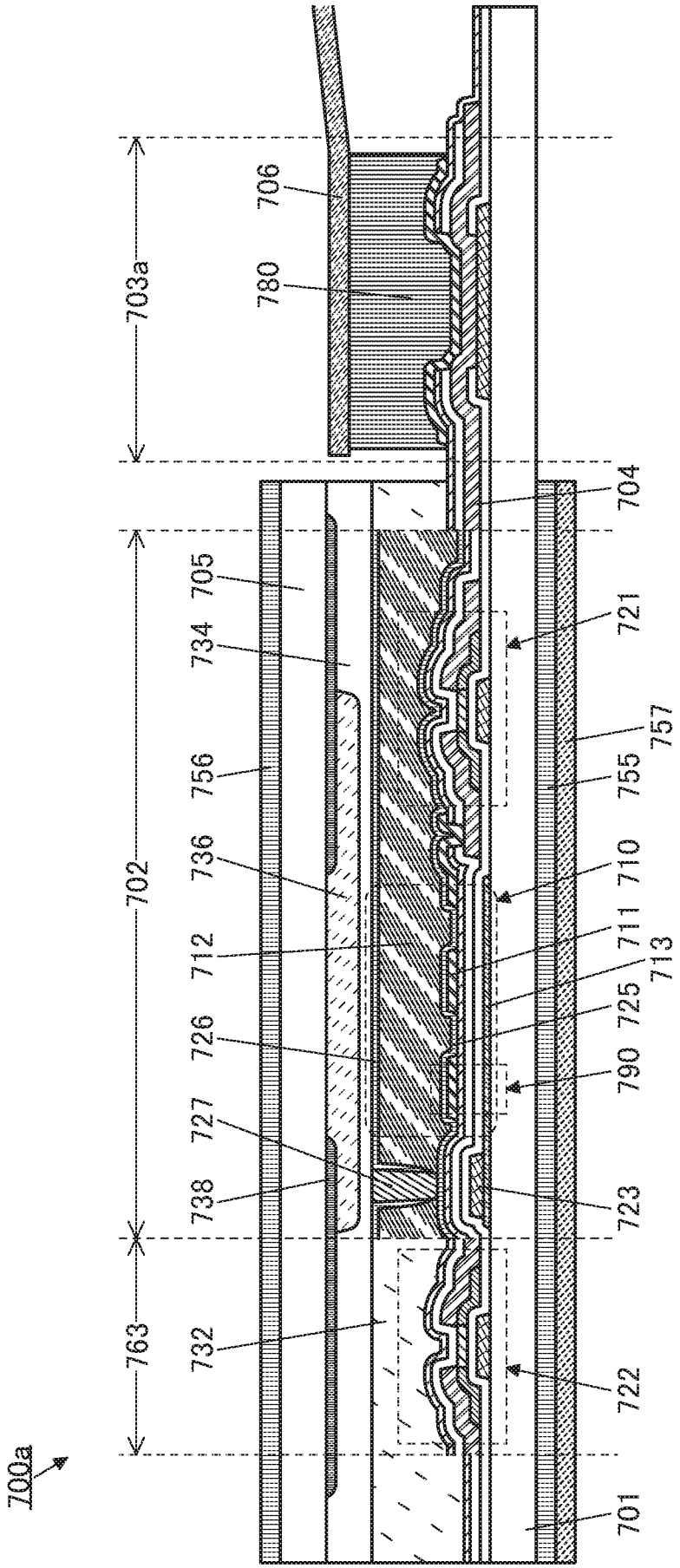

700a
703a
706
780
704
705
734
721
757
756
755
736
710
712
711
713
725
726
790
727
738
723
763
732
722
702
701

図31

図32A

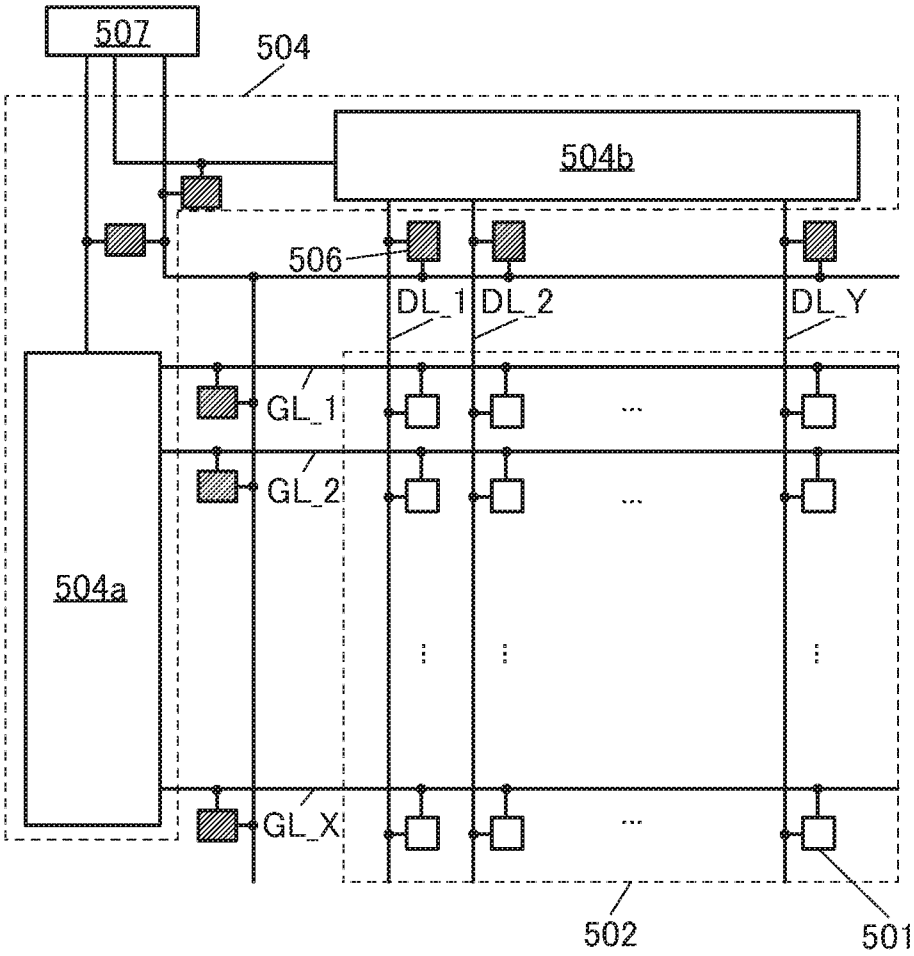


図32B

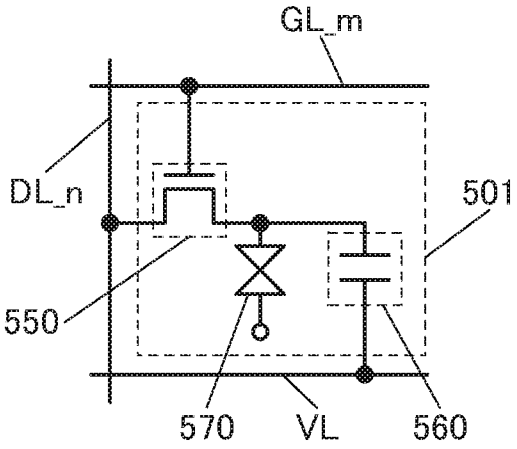


図32C

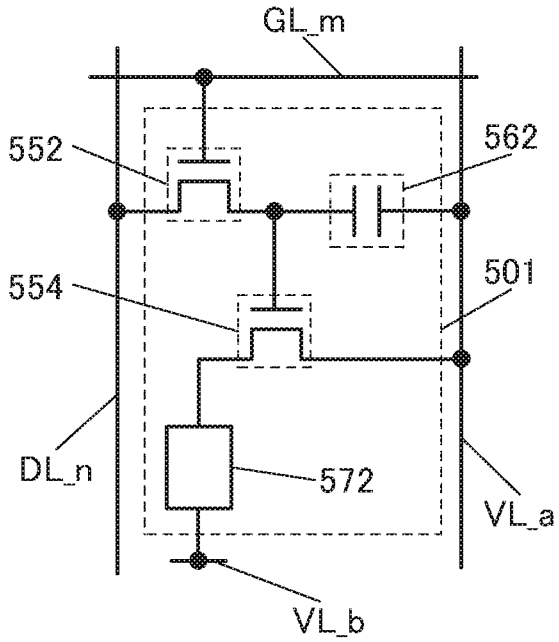


図33A

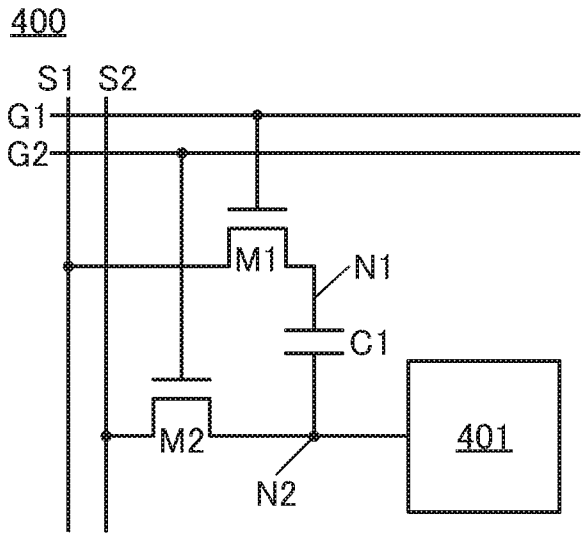


図33B

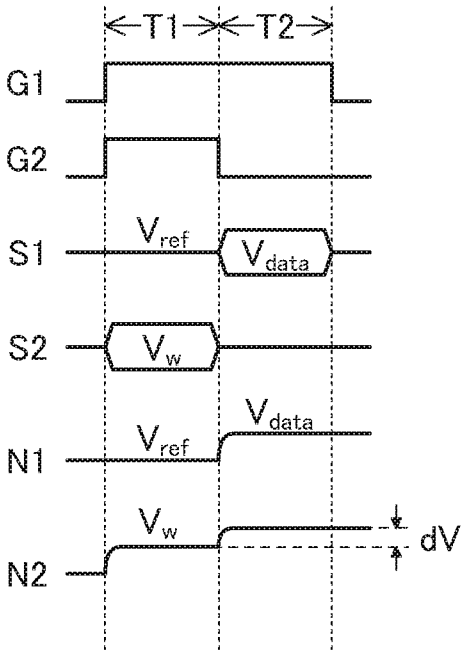


図33C

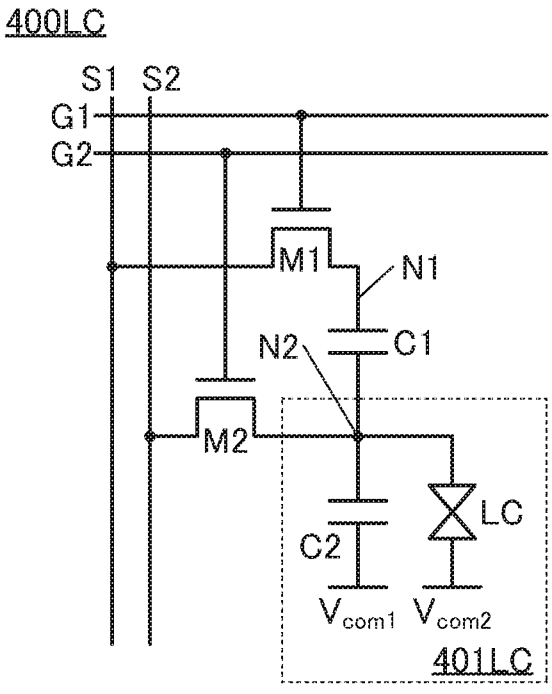


図33D

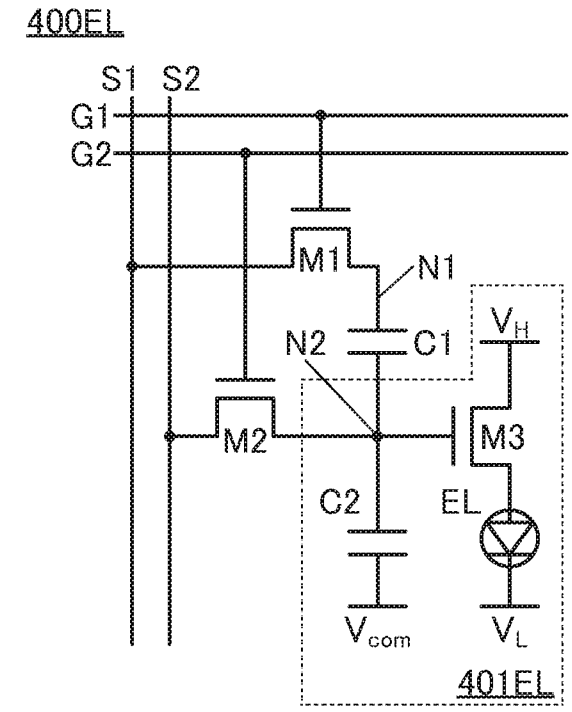


図34A

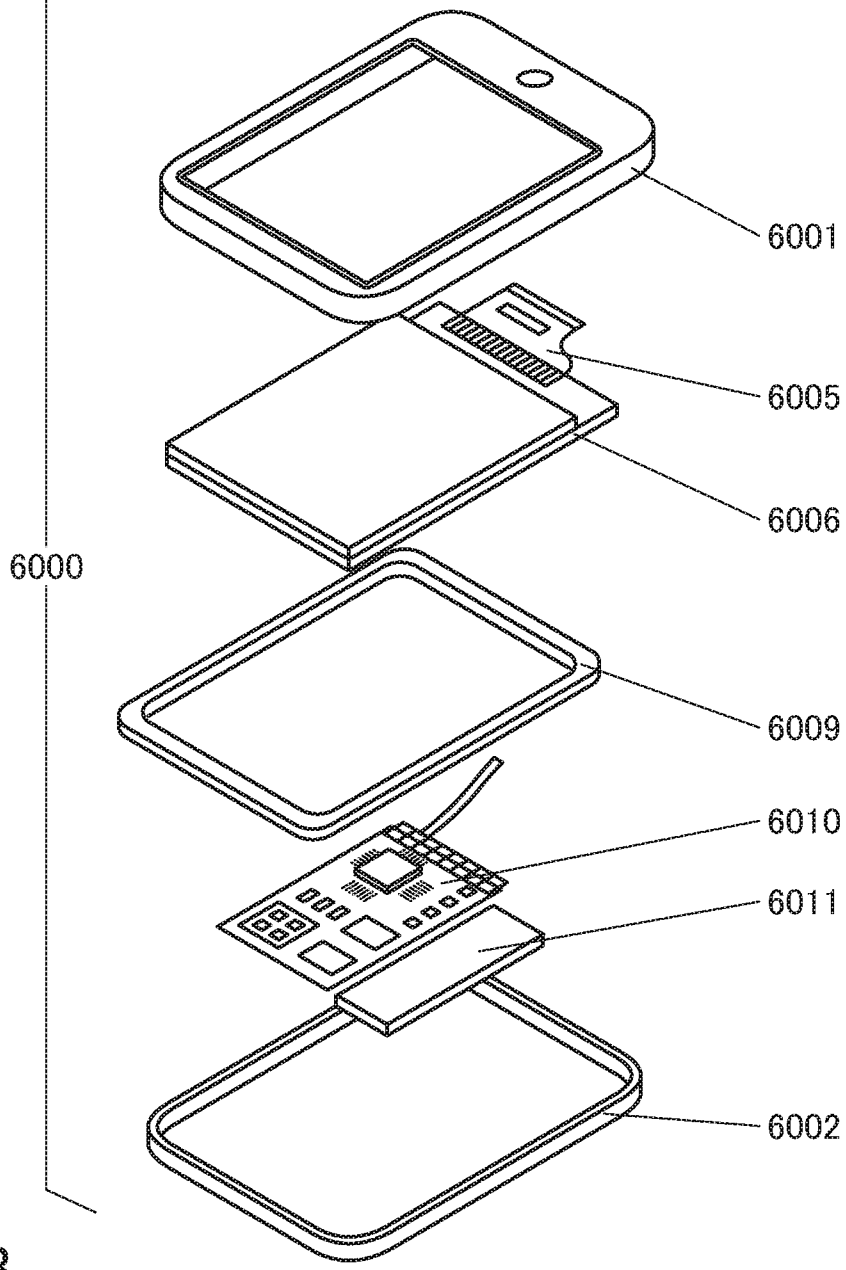

6001
6005
6006
6000
6009
6010
6011
6002

図34B

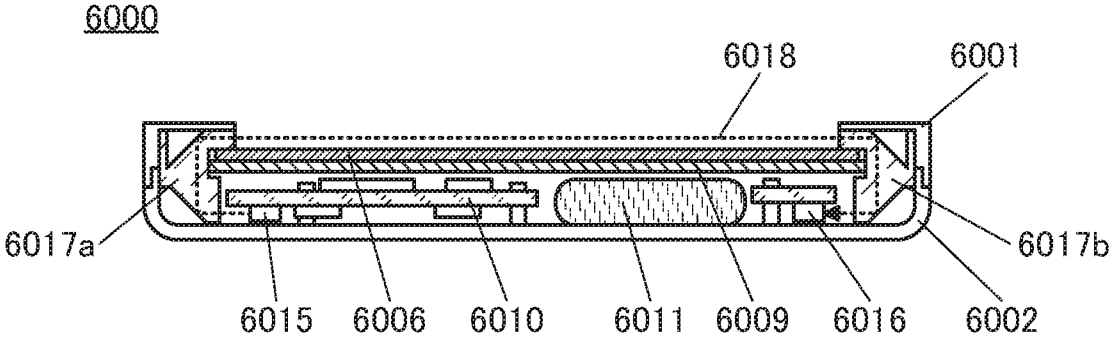

6000
6018
6001
6017a
6017b
6015
6006
6010
6011
6009
6016
6002

図35A

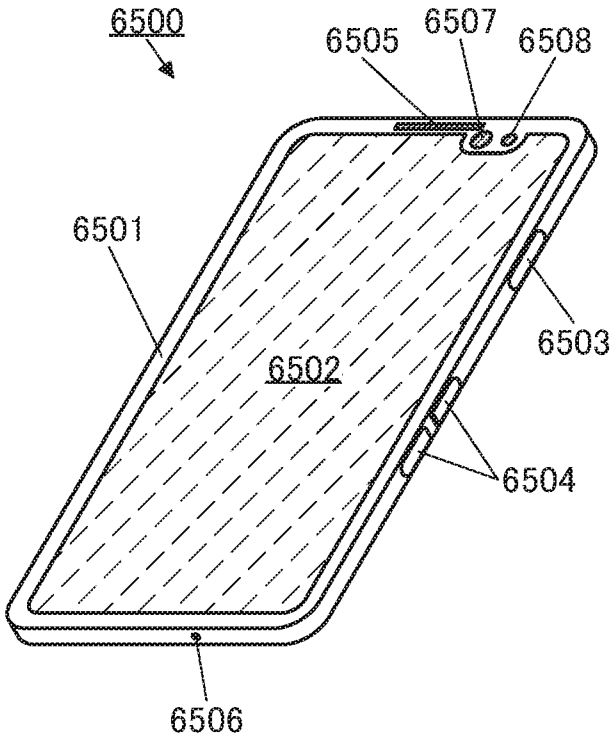


図35B

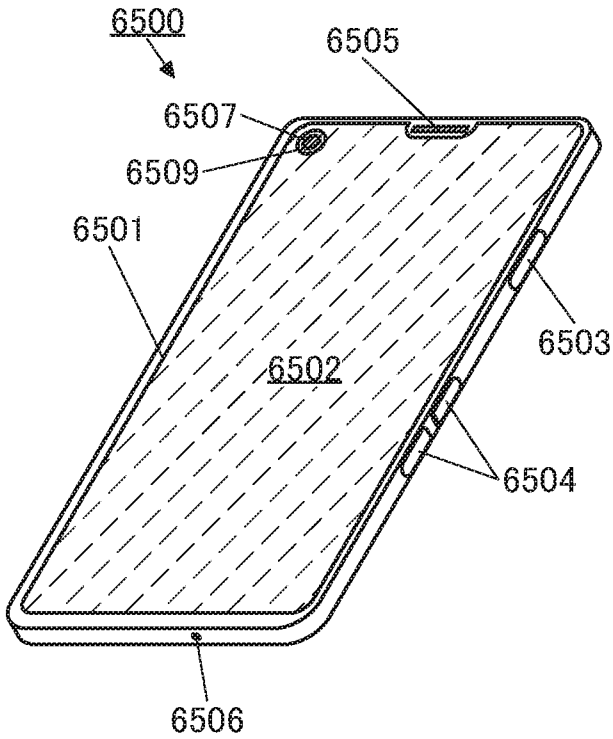


図35C

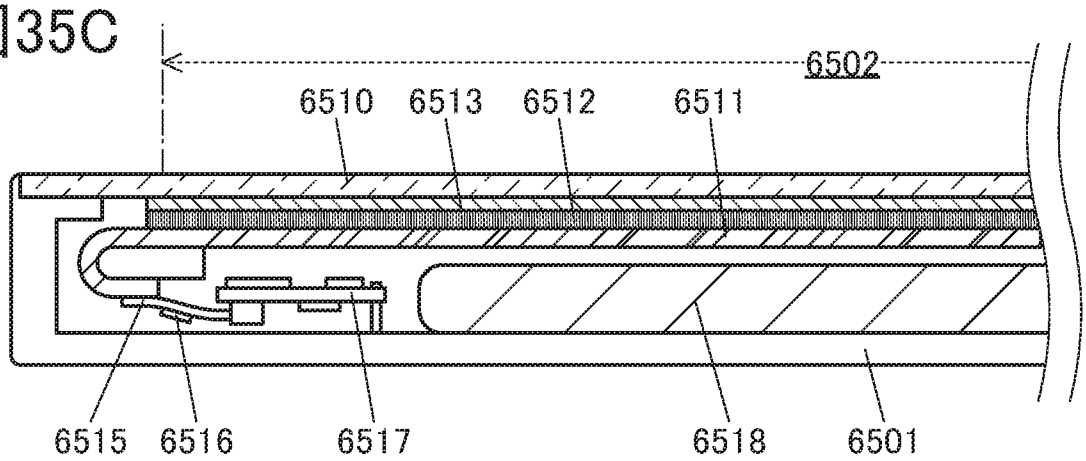


図36A

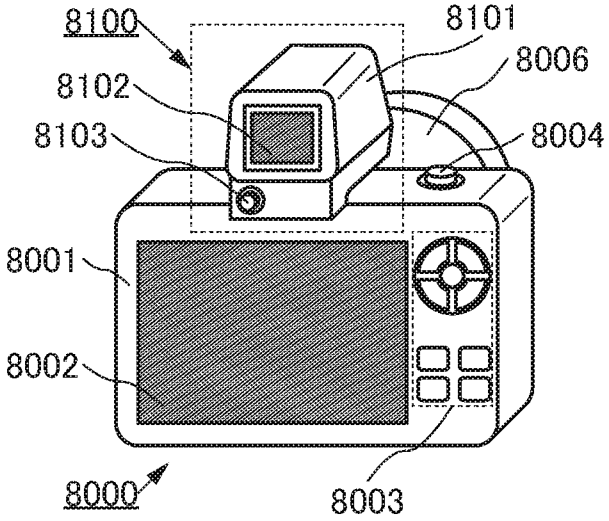


図36B

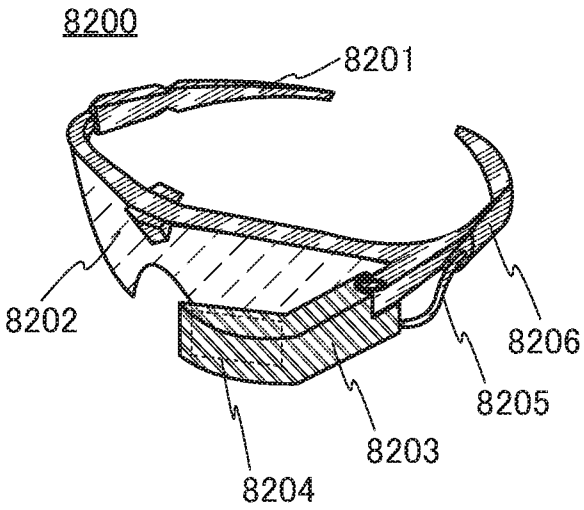


図36C

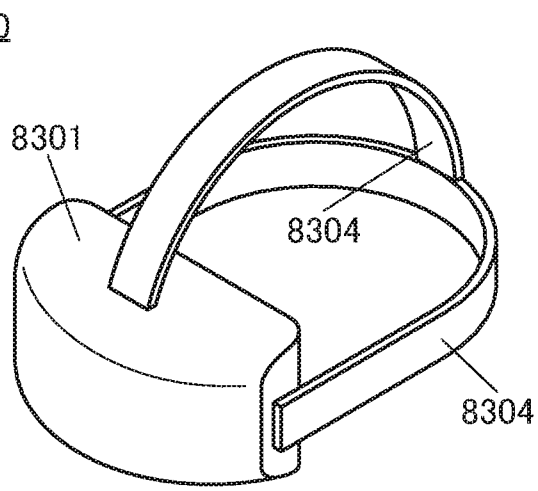


図36D

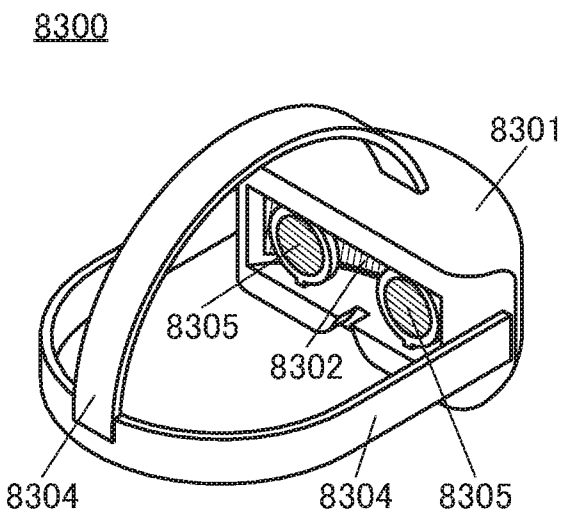


図36E

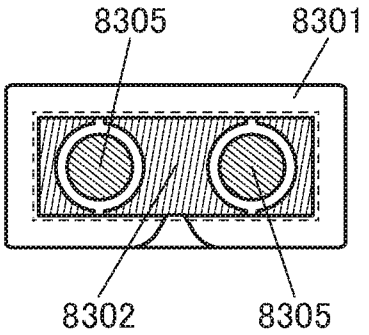


図37A

9100

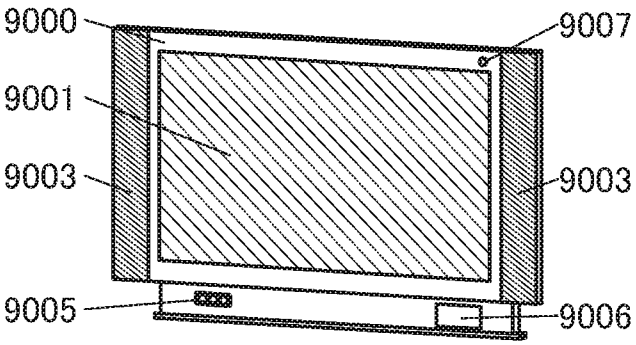


図37B

9101

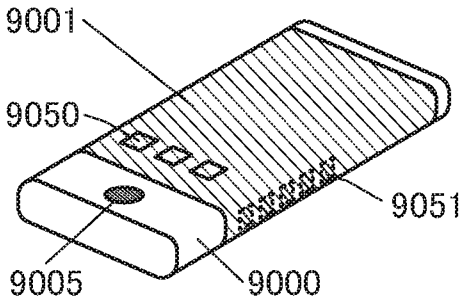


図37C

9102

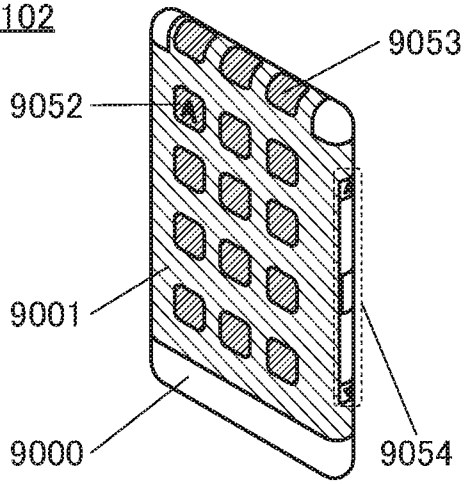


図37D

9200

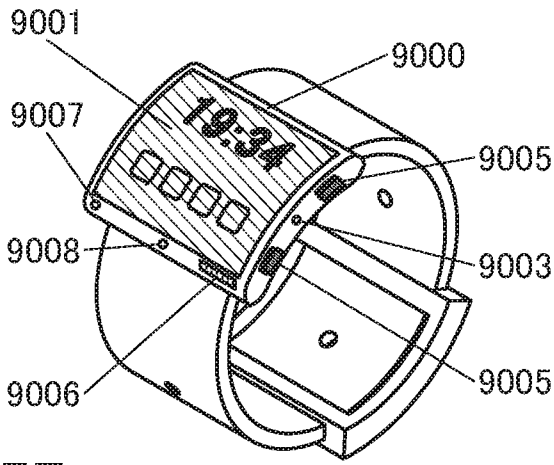


図37E

9201

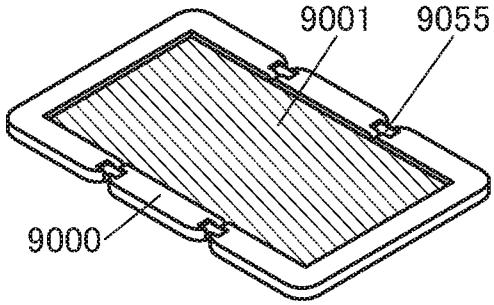


図37F

9201

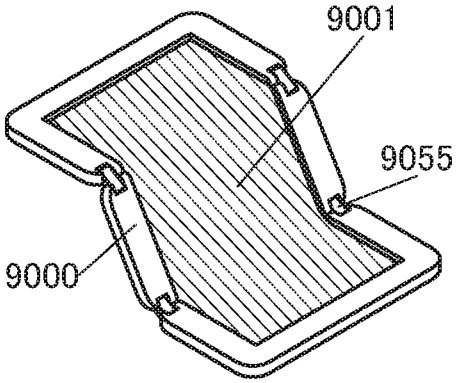


図37G

9201

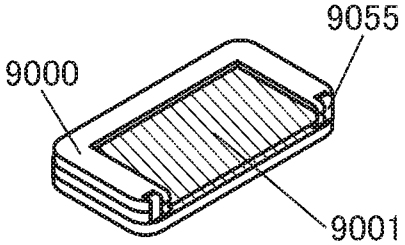


図38A

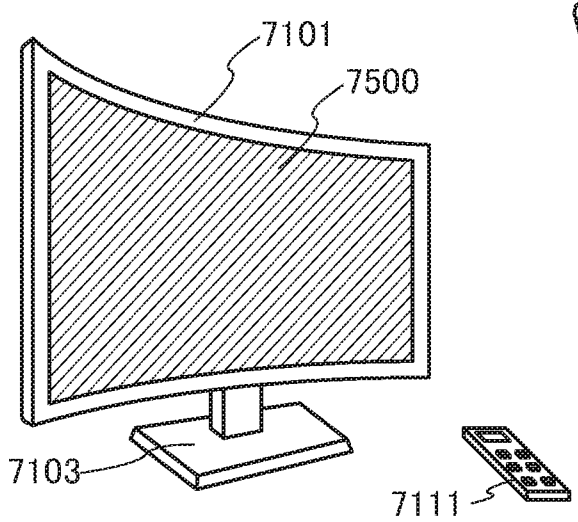


図38B

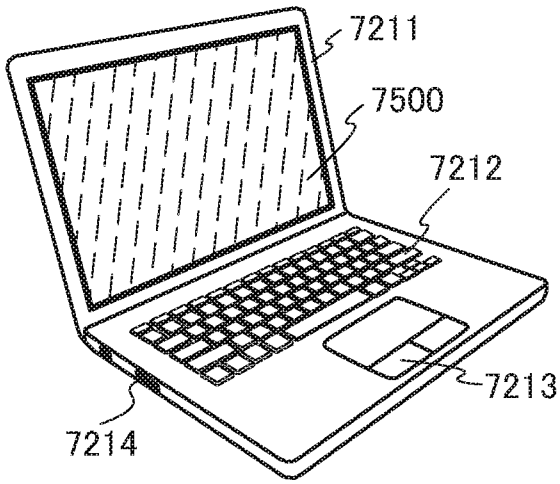


図38C

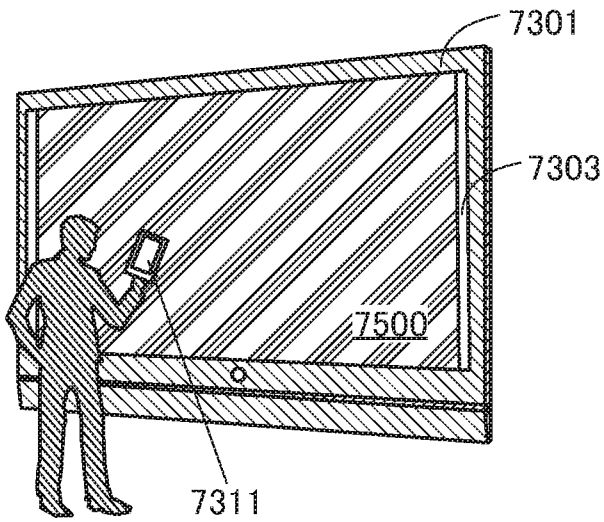
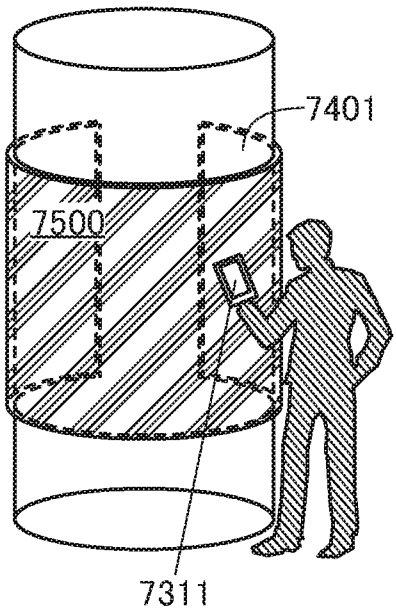


図38D



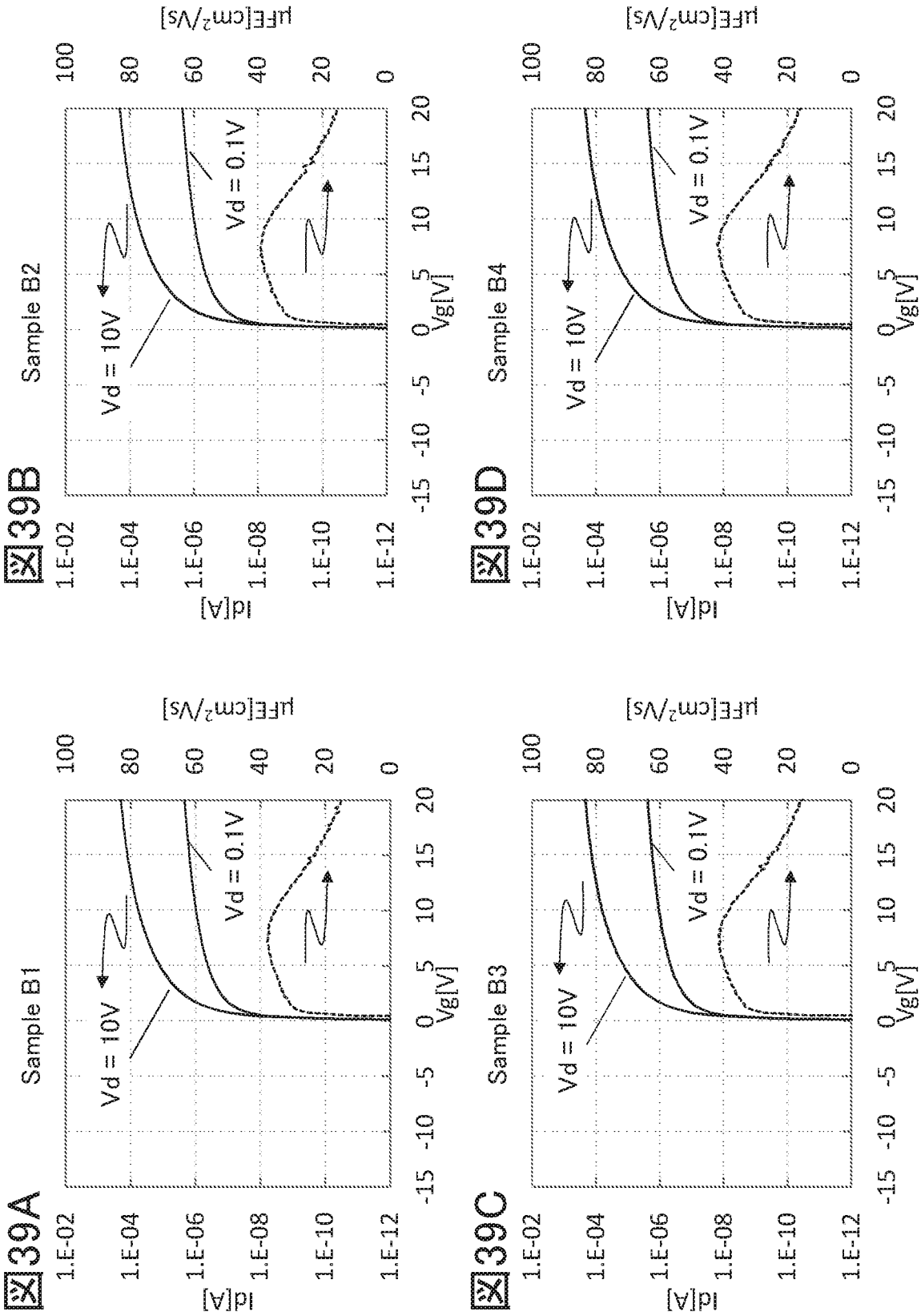
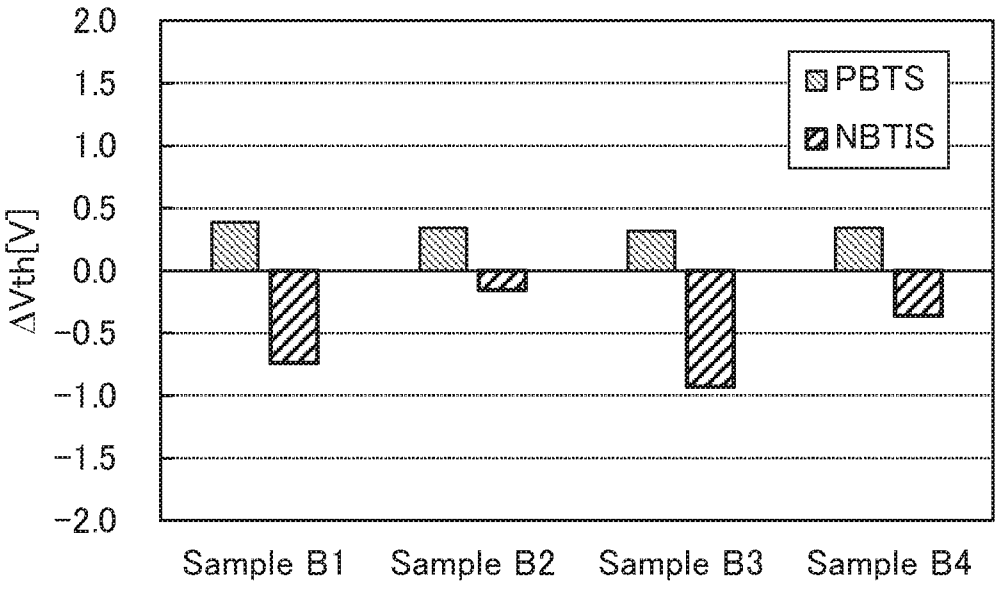

39A
Sample B1
Vd = 10V
Vd = 0.1V
Id[A]
μFE[cm²/Vs]
Vg[V]
39B
Sample B2
39C
Sample B3
39D
Sample B4

図40


2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
−0.5
−1.0
−1.5
−2.0
ΔVth[V]
PBTS
NBTIS
Sample B1
Sample B2
Sample B3
Sample B4

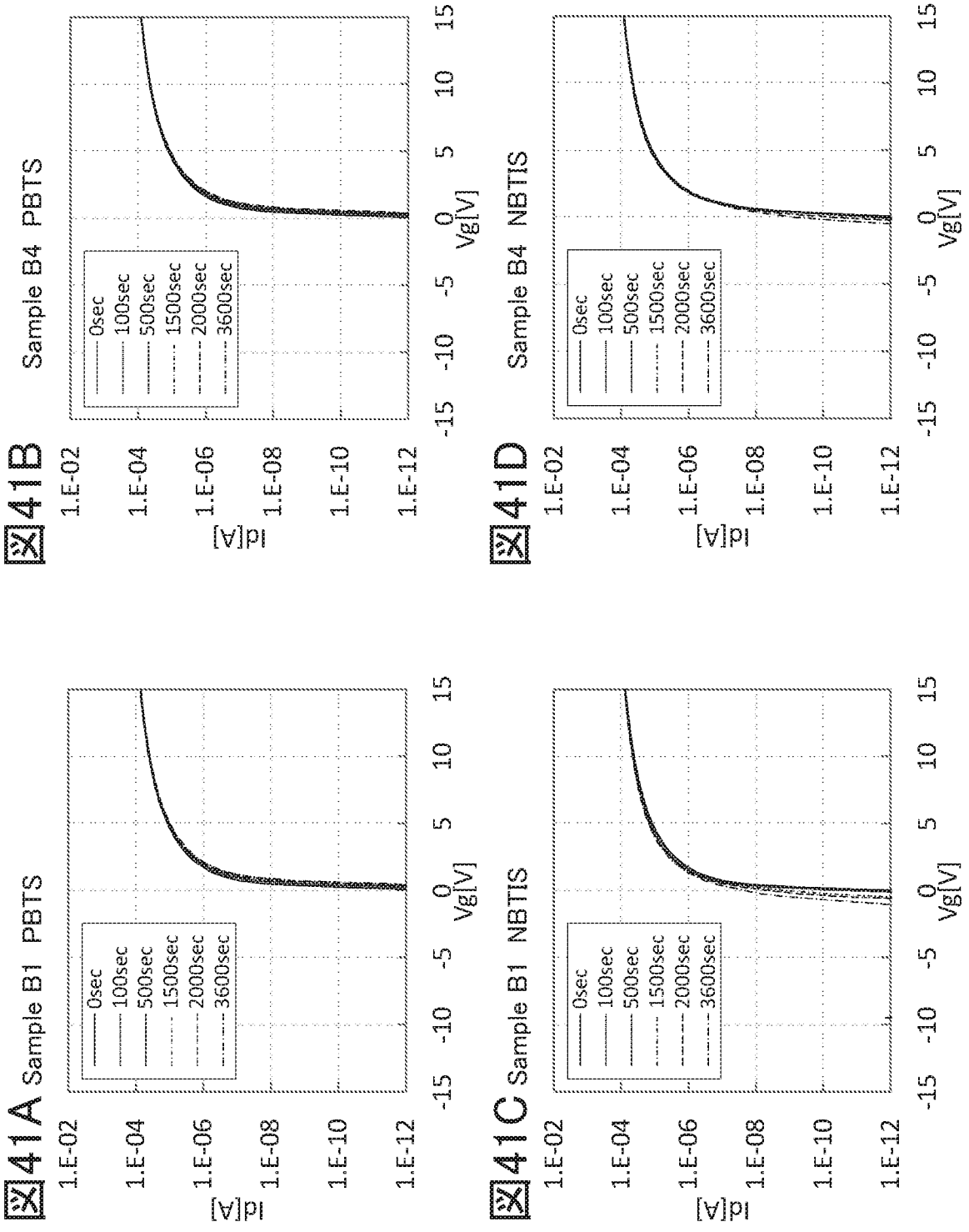

41A Sample B1 PBTS
41B Sample B4 PBTS
41C Sample B1 NBTIS
41D Sample B4 NBTIS
Id[A]
Vg[V]
0sec
100sec
500sec
1500sec
2000sec
3600sec
1.E-02
1.E-04
1.E-06
1.E-08
1.E-10
1.E-12
-15
-10
-5
0
5
10
15

図42

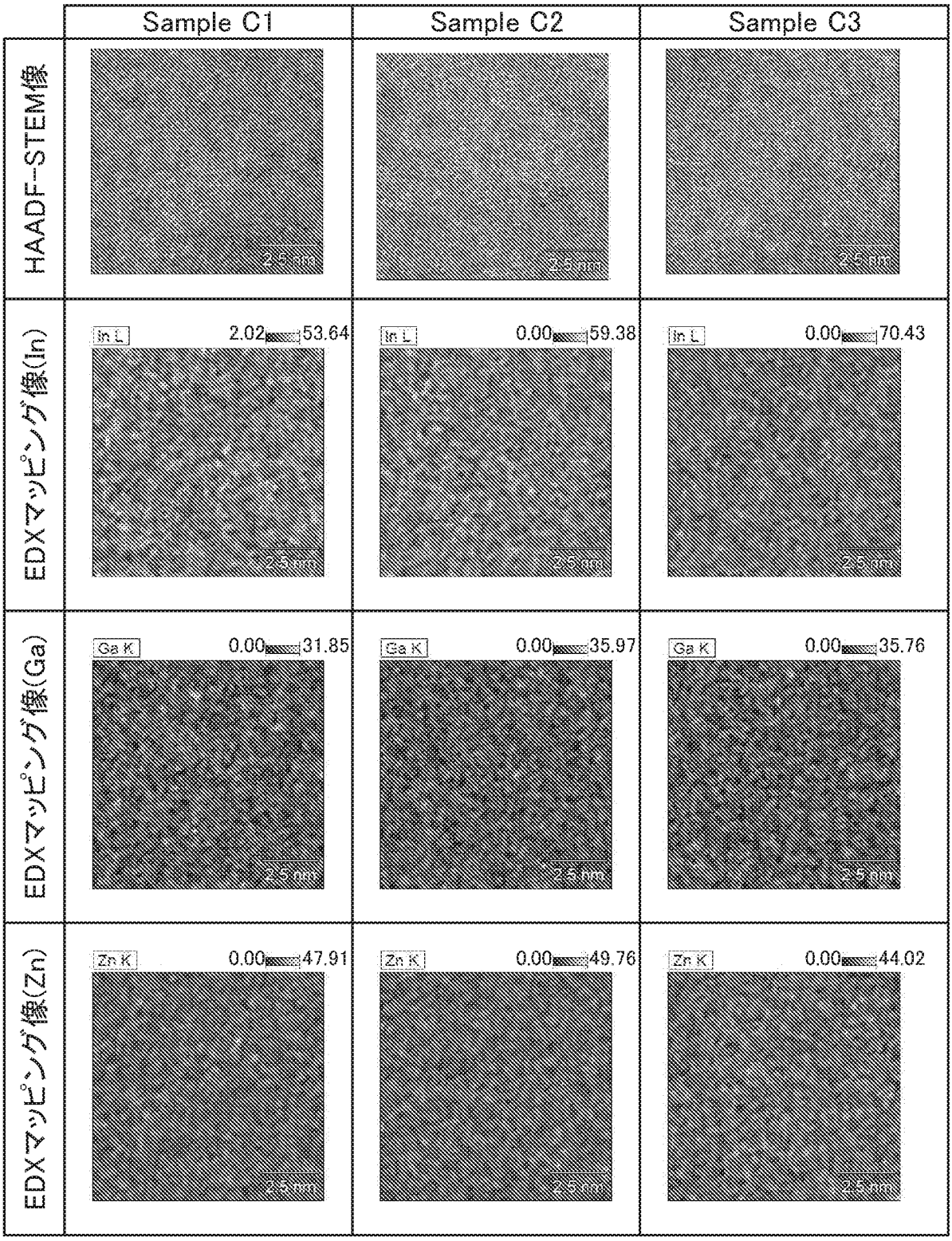

Sample C1
Sample C2
Sample C3
HAADF-STEM像
EDXマッピング像(In)
EDXマッピング像(Ga)
EDXマッピング像(Zn)
In L
2.02
53.64
0.00
59.38
0.00
70.43
Ga K
0.00
31.85
0.00
35.97
0.00
35.76
Zn K
0.00
47.91
0.00
49.76
0.00
44.02
2.5 nm

図43A

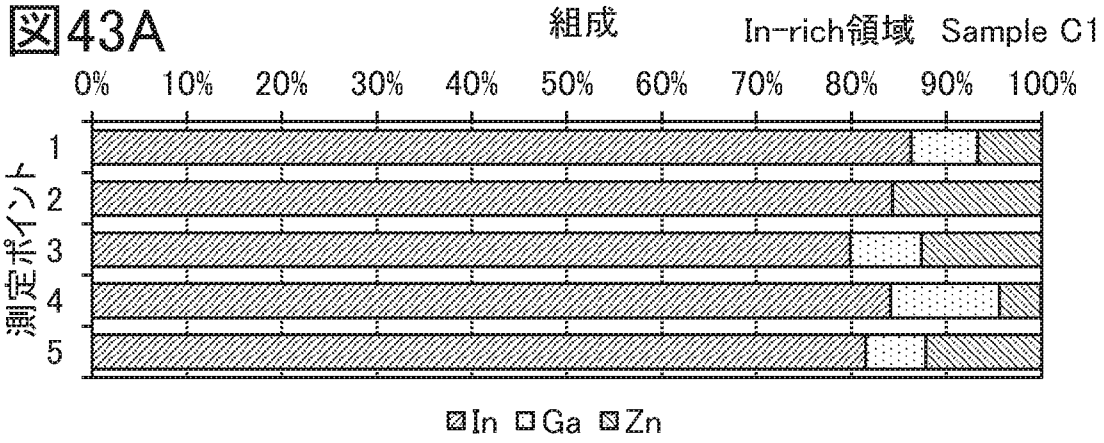


図43B

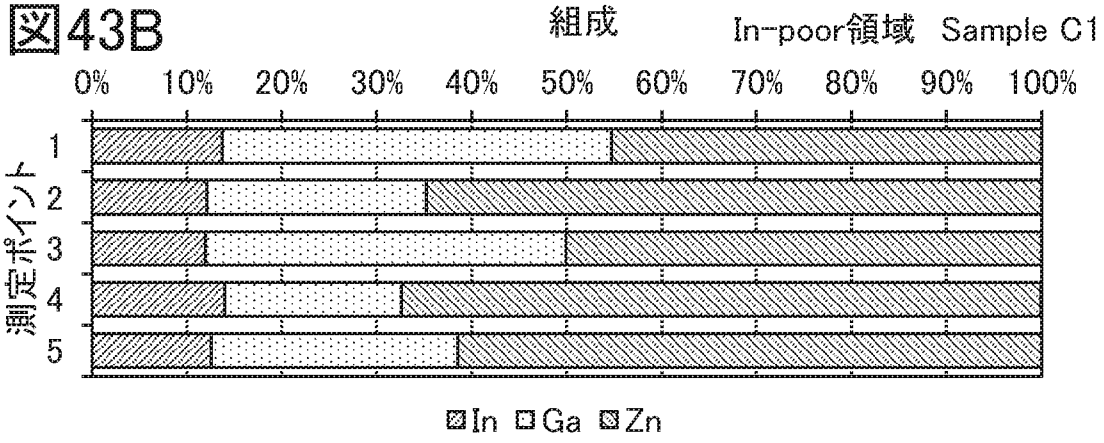


図43C

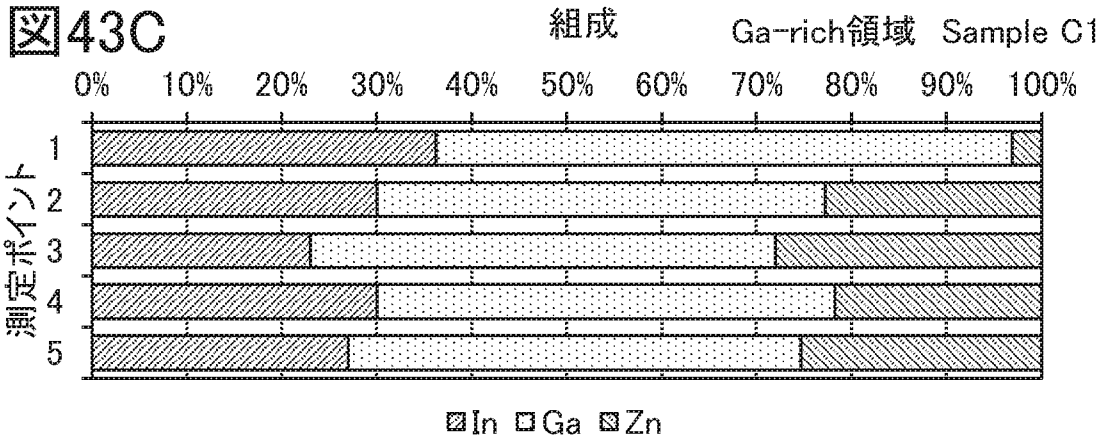


図43D

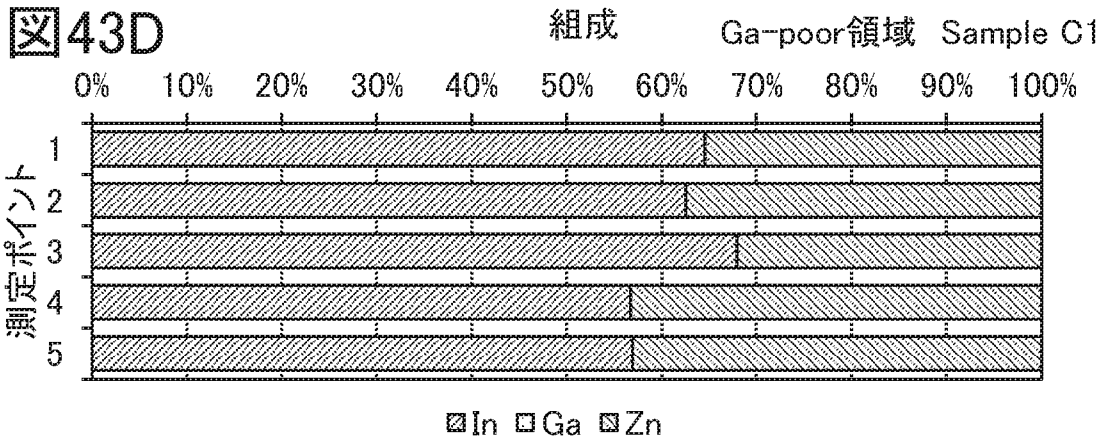


図44A

Sample C1

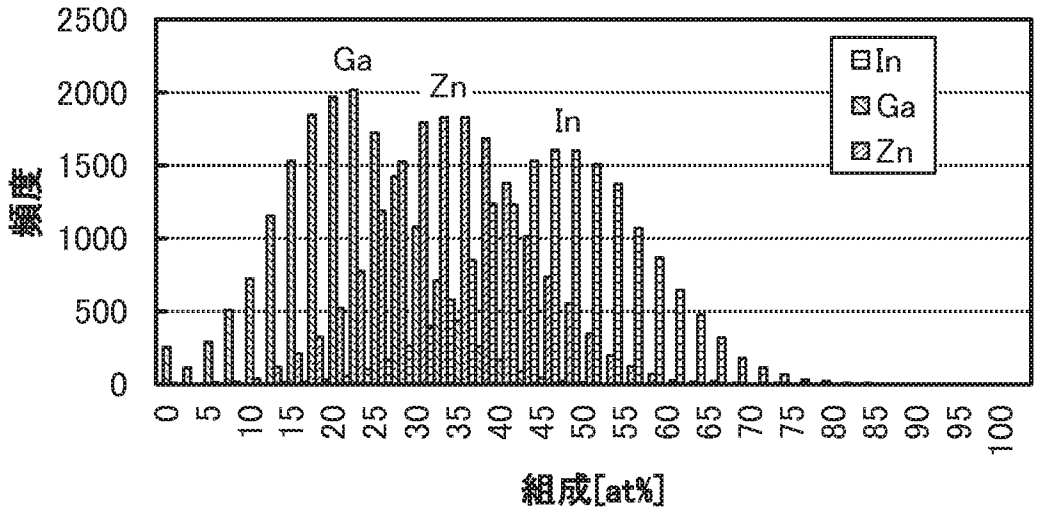


図44B

Sample C2

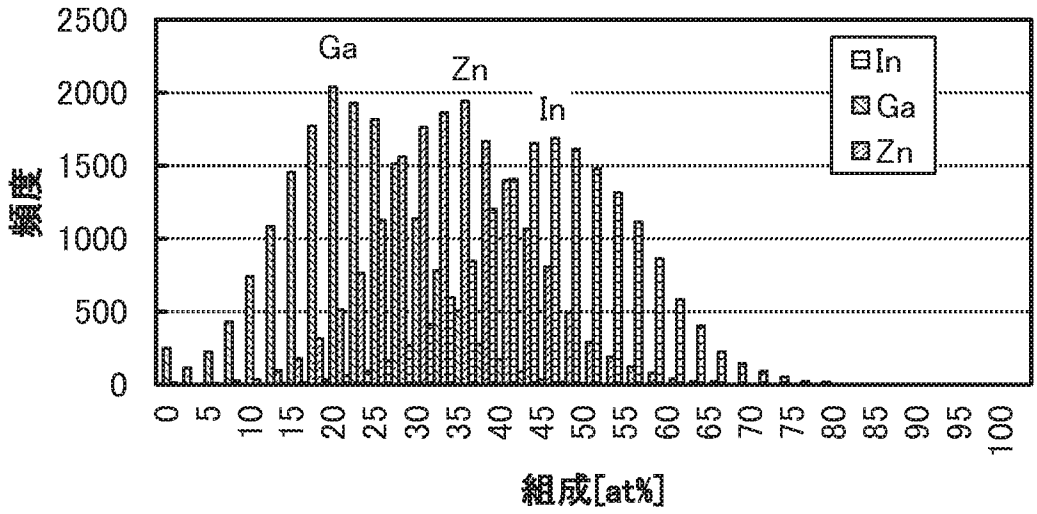
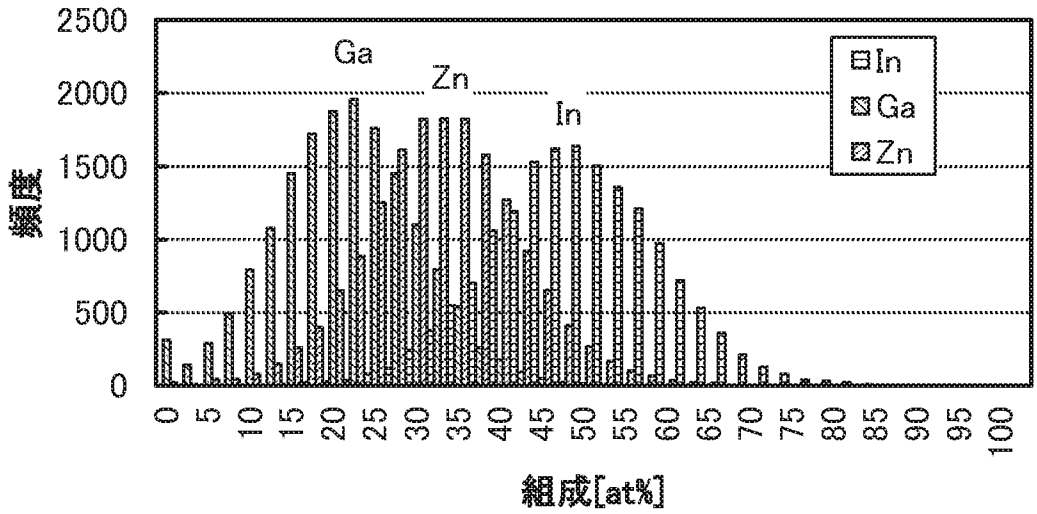


図44C

Sample C3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/IB2020/050999

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. C23C14/08(2006.01)i, C01G15/00(2006.01)i, C01G19/00(2006.01)i, G01N23/20058(2018.01)i, G01N23/2055(2018.01)i, G02F1/1343(2006.01)i, G02F1/1368(2006.01)i, H01L21/20(2006.01)i, H01L21/203(2006.01)i, H01L21/336(2006.01)i, H01L27/32(2006.01)i, H01L29/786(2006.01)i, H01L51/50(2006.01)i
FI: C23C14/08 K, C23C14/08 D, G01N23/20058, G01N23/2055 310, G02F1/1343, G02F1/1368, H01L27/32, H01L29/78 618B, H01L29/78 624, H05B33/14 A, C01G15/00 Z, C01G19/00 A, H01L21/203 S, H01L21/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int. Cl. C23C14/08, C01G15/00, C01G19/00, G01N23/20058, G01N23/2055, G02F1/1343, G02F1/1368, H01L21/20, H01L21/203, H01L21/336, H01L27/32, H01L29/786, H01L51/50

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2017-183718 A (SEMICONDUCTOR ENERGY LABORATORY CO., LTD.) 05 October 2017, claims, paragraphs [0621]-[0654]	1-4 5-6
A	JP 2018-6728 A (SEMICONDUCTOR ENERGY LABORATORY CO., LTD.) 11 January 2018, entire text, all drawings	1-6

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
02.04.2020	14.04.2020

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/IB2020/050999

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2017-183718 A	05.10.2017	US 2017/0278973 A1 claims, paragraphs [0688]-[0721]	
JP 2018-6728 A	11.01.2018	US 2017/0186843 A1 entire text, all drawings US 2019/0051727 A1 WO 2017/115222 A1 CN 108473334 A KR 10-2018-0099725 A	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/IB2020/050999

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

C23C 14/08(2006.01)i; C01G 15/00(2006.01)i; C01G 19/00(2006.01)i; G01N 23/20058(2018.01)i; G01N 23/2055(2018.01)i; G02F 1/1343(2006.01)i; G02F 1/1368(2006.01)i; H01L 21/20(2006.01)i; H01L 21/203(2006.01)i; H01L 21/336(2006.01)i; H01L 27/32(2006.01)i; H01L 29/786(2006.01)i; H01L 51/50(2006.01)i
FI: C23C14/08 K; C23C14/08 D; G01N23/20058; G01N23/2055 310; G02F1/1343; G02F1/1368; H01L27/32; H01L29/78 618B; H01L29/78 624; H05B33/14 A; C01G15/00 Z; C01G19/00 A; H01L21/203 S; H01L21/20

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

C23C14/08; C01G15/00; C01G19/00; G01N23/20058; G01N23/2055; G02F1/1343; G02F1/1368; H01L21/20; H01L21/203; H01L21/336; H01L27/32; H01L29/786; H01L51/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２０年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２０年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２０年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	JP 2017-183718 A (株式会社半導体エネルギー研究所) 05.10.2017 (2017-10-05) [特許請求の範囲], [0621]-[0654]	1-4
A		5-6
A	JP 2018-6728 A (株式会社半導体エネルギー研究所) 11.01.2018 (2018-01-11) 全文,全図	1-6

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
"X" 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
"Y" 特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
"&" 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
02.04.2020	14.04.2020

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
宮崎　園子 4G 9277

電話番号 03-3581-1101 内線 3416

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/IB2020/050999

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2017-183718 A	05.10.2017	US 2017/0278973 A1 請求の範囲,[0688]-[0721]	
JP 2018-6728 A	11.01.2018	US 2017/0186843 A1 全文,全図 US 2019/0051727 A1 WO 2017/115222 A1 CN 108473334 A KR 10-2018-0099725 A	