

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017年12月21日(21.12.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/216682 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 21/363 (2006.01) *H01L 21/285* (2006.01)
C23C 14/34 (2006.01) *H01L 29/786* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/IB2017/053341

(22) 国際出願日: 2017年6月7日(07.06.2017)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2016-121057 2016年6月17日(17.06.2016) JP
特願 2016-121092 2016年6月17日(17.06.2016) 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 3 9 8 Kanagawa (JP).

(72) 発明者: 山崎 舜平 (YAMAZAKI, Shunpei);
〒2430036 神奈川県厚木市長谷 3 9 8 株式会社
半導体エネルギー研究所内 Kanagawa (JP).

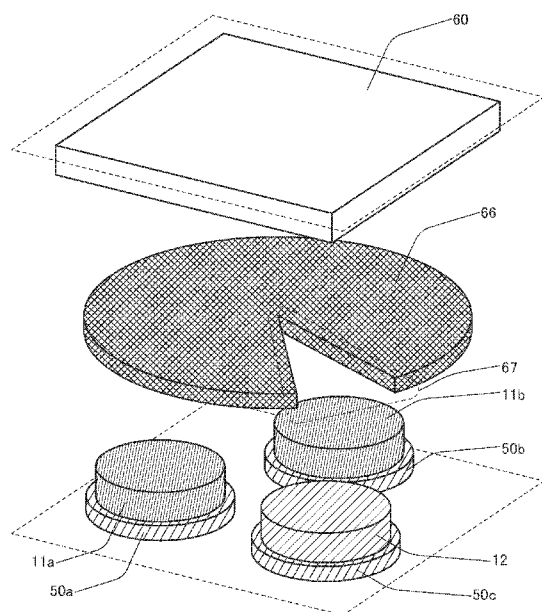
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA,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

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS,

(54) Title: SPUTTERING DEVICE AND TRANSISTOR

(54) 発明の名称: スパッタリング装置およびトランジスタ

[図1]



(57) Abstract: Provided are a novel metal oxide and a novel transistor. A metal oxide film is formed by using a sputtering device characterized by comprising a first sputtering target, a second sputtering target, a shutter, and a substrate holder, the first sputtering target comprising a conductive material, the second sputtering target comprising an insulating material, the shutter being positioned between the substrate holder and the first sputtering target and second sputtering target, the shutter being provided with a cut-out part, and the substrate holder facing the first sputtering target or the second sputtering target via the cut-out in the shutter. In the transistor, said metal oxide film is used as a channel formation region.

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)）
- 一 請求の範囲の補正の期限前の公開であり、補正
を受理した際には再公開される。（規則
48.2(h)）

(57) 要約：新規な金属酸化物および新規なトランジスタを提供する。第1のスパッタリングターゲットと、第2のスパッタリングターゲットと、シャッタと、基板ホルダと、を有し、第1のスパッタリングターゲットは、導電性材料を含み、第2のスパッタリングターゲットは、絶縁性材料を含み、シャッタは、第1のスパッタリングターゲット及び第2のスパッタリングターゲットと、基板ホルダの間に位置し、シャッタは、切欠き部が設けられ、基板ホルダは、シャッタの切欠き部を介して、第1のスパッタリングターゲットまたは第2のスパッタリングターゲットと対向される、ことを特徴とするスパッタリング装置を用いて金属酸化物膜を成膜する。また、該金属酸化物膜をチャネル形成領域として用いるトランジスタ。

明細書

発明の名称
スパッタリング装置およびトランジスタ
技術分野

[0001]

本発明は、物、方法、または、製造方法に関する。または、本発明は、プロセス、マシン、マニュファクチャ、または、組成物（コンポジション・オブ・マター）に関する。特に、本発明の一態様は、金属酸化物、金属酸化物の製造装置または当該金属酸化物の製造方法に関する。または、本発明の一態様は、半導体装置、表示装置、液晶表示装置、発光装置、蓄電装置、記憶装置、それらの駆動方法、または、それらの製造方法に関する。

[0002]

なお、本明細書等において、半導体装置とは、半導体特性を利用することで機能しうる装置全般を指す。トランジスタなどの半導体素子をはじめ、半導体回路、演算装置、記憶装置は、半導体装置の一態様である。撮像装置、表示装置、液晶表示装置、発光装置、電気光学装置、発電装置（薄膜太陽電池、有機薄膜太陽電池等を含む）、及び電子機器は、半導体装置を有している場合がある。

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 μ FEという場合がある）を高めた半導体装置が検討されている。

[0004]

また、非特許文献1では、トランジスタの活性層として、In-Zn酸化物と、In-Ga-Zn酸化物との2層積層の酸化物半導体を有する構造が検討されている。

[0005]

また、非特許文献2では、トランジスタの活性層として、金属酸化物を用い、当該金属酸化物がX-O-Y構造を有する構成について検討されている。

[先行技術文献]

[特許文献]

[0006]

[特許文献1] 特開2014-7399号公報

[非特許文献]

[0007]

[非特許文献1] John F. Wager, 「Oxide TFTs: A Progress Report」、Information Display 1/16、SID 2016、Jan/Feb 2016、Vol. 32, No. 1, p. 16-21

[非特許文献2] T. Xiao, 「Metal Oxide TFT Turnkey Manufacturing Solutions for a-Si TFT Lines」、SID 2016 DIGEST、p. 318

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008]

非特許文献1では、チャネル保護型のボトムゲート型のトランジスタにおいて、トランジスタの活

性層として、In-Zn酸化物と、In-Ga-Zn酸化物との2層積層とし、チャネルが形成されるIn-Zn酸化物の膜厚を10nmとすることで、高い電界効果移動度 ($\mu = 62 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$) を実現している。一方で、トランジスタ特性の一つであるS値 (Subthreshold Swing、SSともいう) が0.41V/decadeと大きい。また、トランジスタ特性の一つである、しきい値電圧 (V_{th} ともいう) が-2.9Vであり、所謂ノーマリーオンのトランジスタ特性である。

[0009]

酸化物半導体膜をチャネル領域に用いるトランジスタとしては、電界効果移動度が高い方が好ましい。しかしながら、トランジスタの電界効果移動度を高めると、トランジスタの特性がノーマリーオンの特性になりやすいといった問題がある。なお、ノーマリーオンとは、ゲート電極に電圧を印加しなくてもチャネルが存在し、トランジスタに電流が流れてしまう状態のことである。

[0010]

また、非特許文献2では、金属酸化物がX-O-Y構造を有する構成について例示しており、イオン性結合を有するX-O (XはIn、Ga、Zn、Cdなど) と、共有結合を有するY-O (YはB、Si、Ge、Alなど) とを一体化させている。なお、酸素 (O) との結合性が弱いXと、酸素 (O) との結合性が強いYとを一体化させることで、金属酸化物中の酸素欠損を抑制している。

[0011]

一方で、非特許文献2においては、金属酸化物に含まれるX-Oと、Y-Oとを機能的に分離させることは開示されていない。

[0012]

上述の問題に鑑み、本発明の一態様は、新規な金属酸化物を提供することを課題の一とする。または、本発明の一態様は、新規なスパッタリング装置を提供することを課題の一とする。または、本発明の一態様は、半導体装置に良好な電気特性を付与することを課題の一とする。または、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。または、新規な構成の半導体装置を提供することを課題の一とする。

[0013]

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、自ずと明らかとなるものであり、明細書、図面、請求項などの記載から、これら以外の課題を抽出することが可能である。

課題を解決するための手段

[0014]

本発明の一態様は、第1のスパッタリングターゲットと、第2のスパッタリングターゲットと、シャッタと、基板ホルダと、を有し、第1のスパッタリングターゲットは、導電性材料を含み、第2のスパッタリングターゲットは、絶縁性材料を含み、シャッタは、第1のスパッタリングターゲット及び第2のスパッタリングターゲットと、基板ホルダの間に位置し、シャッタは、切欠き部が設けられ、基板ホルダは、シャッタの切欠き部を介して、第1のスパッタリングターゲットまたは第2のスパッタリングターゲットと対向される、ことを特徴とするスパッタリング装置である。

[0015]

また、本発明の他の一態様は、第1のスパッタリングターゲットと、第2のスパッタリングターゲ

ットと、シャッタと、基板ホルダと、を有し、第1のスパッタリングターゲットは、導電性材料を含み、第2のスパッタリングターゲットは、絶縁性材料を含み、シャッタは、第1のスパッタリングターゲット及び第2のスパッタリングターゲットと、基板ホルダの間に位置し、シャッタは、開口部が設けられ、基板ホルダは、シャッタの開口部を介して、第1のスパッタリングターゲットまたは第2のスパッタリングターゲットと対向される、ことを特徴とするスパッタリング装置である。

[0016]

上記構成において、導電性材料は、インジウムの酸化物および亜鉛の酸化物のいずれか一方または双方を有することが好ましい。また、上記構成において、絶縁性材料は、元素M（元素Mは、Ga、Al、Si、B、Y、Ti、Fe、Ni、Ge、Zr、Mo、La、Ce、Nd、Hf、Ta、W、Mg、V、Be、またはCuのいずれか一つ、または複数）の酸化物を有することが好ましい。

[0017]

上記構成において、シャッタは、シャッタに垂直な軸を回転軸として、回転させることができることが好ましい。また、上記構成において、第1のスパッタリングターゲット及び第2のスパッタリングターゲットは、シャッタに垂直な軸を回転軸として、回転させることができることが好ましい。

[0018]

また、本発明の他の一態様は、第1のスパッタリングターゲットと、第2のスパッタリングターゲットと、第3のスパッタリングターゲットと、シャッタと、基板ホルダと、を有し、第1のスパッタリングターゲットは、インジウム酸化物を含み、第2のスパッタリングターゲットは、亜鉛酸化物を含み、第3のスパッタリングターゲットは、元素M（元素Mは、Ga、Al、Si、B、Y、Ti、Fe、Ni、Ge、Zr、Mo、La、Ce、Nd、Hf、Ta、W、Mg、V、Be、またはCuのいずれか一つ、または複数）の酸化物を含み、シャッタは、第1のスパッタリングターゲット、第2のスパッタリングターゲット及び第3のスパッタリングターゲットと、基板ホルダの間に位置し、シャッタは、切欠き部が設けられ、基板ホルダは、シャッタの切欠き部を介して、第1のスパッタリングターゲット、または第2のスパッタリングターゲットまたは第3のスパッタリングターゲットと対向される、ことを特徴とするスパッタリング装置である。

[0019]

また、本発明の他の一態様は、第1のスパッタリングターゲットと、第2のスパッタリングターゲットと、第3のターゲットと、シャッタと、基板ホルダと、を有し、第1のスパッタリングターゲットは、インジウム酸化物を含み、第2のスパッタリングターゲットは、亜鉛酸化物を含み、第3のスパッタリングターゲットは、元素M（元素Mは、Ga、Al、Si、B、Y、Ti、Fe、Ni、Ge、Zr、Mo、La、Ce、Nd、Hf、Ta、W、Mg、V、Be、またはCuのいずれか一つ、または複数）の酸化物を含み、シャッタは、第1のスパッタリングターゲット、第2のスパッタリングターゲット及び第3のスパッタリングターゲットと、基板ホルダの間に位置し、シャッタは、開口部が設けられ、基板ホルダは、シャッタの開口部を介して、第1のスパッタリングターゲット、または第2のスパッタリングターゲットまたは第3のスパッタリングターゲットと対向される、ことを特徴とするスパッタリング装置である。

[0020]

上記構成において、シャッタは、シャッタに垂直な軸を回転軸として、回転させることができることが好ましい。また、上記構成において、第1のスパッタリングターゲット、第2のスパッタリング

ターゲット及び第3のスパッタリングターゲットは、シャッタに垂直な軸を回転軸として、回転させることができることが好ましい。また、上記構成において、基板ホルダは、シャッタに垂直な軸を回転軸として、回転させることができることが好ましい。

[0021]

また、本発明の一態様は、ゲート電極と、第1の導電体と、第2の導電体と、ゲート絶縁体と、第1の酸化物と、第2の酸化物と、第3の酸化物を有し、ゲート絶縁体は、ゲート電極と第1の酸化物との間に位置し、ゲート電極は、ゲート絶縁体および第1の酸化物を介して、第2の酸化物と重なる領域を有し、第1の導電体および第2の導電体は、第2の酸化物の上面および側面と接する領域を有し、第2の酸化物は、第3の酸化物の上面と接する領域を有し、第2の酸化物は、膜厚方向に第1のバンドギャップを有する酸化物と、第1のバンドギャップを有する酸化物に接する第2のバンドギャップを有する酸化物と、が交互に重なる積層構造を有し、第2の酸化物は、第1のバンドギャップを有する酸化物を、2層以上を有し、第1のバンドギャップは、第2のバンドギャップより小さい、ことを特徴とするトランジスタである。

[0022]

上記構成において、第2の酸化物は、チャネル形成領域を有し、チャネル形成領域のチャネル幅方向において、第1の酸化物は、第2の酸化物を覆う様に配置される、ことを特徴とするトランジスタである。

[0023]

また、上記構成において、第2の酸化物は、第1のバンドギャップを有する酸化物を、3層以上10層以下を有する、ことを特徴とするトランジスタである。

[0024]

また、上記構成において、第1の酸化物のバンドギャップおよび第3の酸化物のバンドギャップは、第1のバンドギャップより大きい、ことを特徴とするトランジスタである。

[0025]

また、上記構成において、第1のバンドギャップを有する酸化物の膜厚は、0.5 nm以上2.0 nm以下の領域を有する、ことを特徴とするトランジスタである。

[0026]

また、上記構成において、第2のバンドギャップを有する酸化物の膜厚は、0.1 nm以上3.0 nm以下の領域を有する、ことを特徴とするトランジスタである。

[0027]

また、上記構成において、第1の導電体の端部と第2の導電体の端部との互いに向かい合う距離は、10 nm以上300 nm以下の領域を有する、ことを特徴とするトランジスタである。

[0028]

また、上記構成において、ゲート電極の幅は、10 nm以上300 nm以下の領域を有する、ことを特徴とするトランジスタである。

[0029]

また、上記構成において、第1のバンドギャップを有する酸化物のキャリア密度は、 $6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下である、ことを特徴とするトランジスタである。

[0030]

また、上記構成において、第1のバンドギャップを有する酸化物は、縮退している、ことを特徴とするトランジスタであってもよい。

[0031]

また、上記構成において、第1のバンドギャップを有する酸化物は、インジウム、亜鉛または窒素のいずれか一、または複数を含む、ことを特徴とするトランジスタである。

[0032]

また、上記構成において、第2のバンドギャップを有する酸化物は、インジウム、ホウ素、ガリウムまたは亜鉛のいずれか一、または複数を含む、ことを特徴とするトランジスタである。

発明の効果

[0033]

本発明の一態様により、新規な金属酸化物を提供することができる。または、本発明の一態様により、新規なスパッタリング装置を提供することができる。または、本発明の一態様により、半導体装置に良好な電気特性を付与することができる。または、信頼性の高い半導体装置を提供することができる。または、新規な構成の半導体装置を提供することができる。

[0034]

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、自ずと明らかとなるものであり、明細書、図面、請求項などの記載から、これら以外の効果を抽出することが可能である。

図面の簡単な説明

[0035]

[図1] スパッタリングターゲット、シャッタ及び基板を示す模式図。

[図2] シャッタの回転を示す模式図。

[図3] シャッタの変形例を示す模式図。

[図4] スパッタリング装置の成膜室を説明する断面図。

[図5] 金属酸化物の模式図。

[図6] トランジスタの上面図および断面図構造を説明する図。

[図7] トランジスタの断面構造を説明する図。

[図8] トランジスタの上面図および断面構造を説明する図。

[図9] トランジスタの作製方法を示す上面図および断面図。

[図10] トランジスタの作製方法を示す上面図および断面図。

[図11] トランジスタの作製方法を示す上面図および断面図。

[図12] トランジスタの作製方法を示す上面図および断面図。

[図13] 本発明の一態様に係る半導体装置の断面図。

[図14] 本発明の一態様に係る半導体装置の断面図。

[図15] 本発明の一態様に係る金属酸化物のバンドを示す図。

発明を実施するための形態

[0036]

以下、実施の形態について図面を参照しながら説明する。但し、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。

[0037]

また、図面において、大きさ、層の厚さ、又は領域は、明瞭化のために誇張されている場合がある。よって、必ずしもそのスケールに限定されない。なお図面は、理想的な例を模式的に示したものであり、図面に示す形状又は値などに限定されない。

[0038]

また、本明細書にて用いる「第1」、「第2」、「第3」という序数詞は、構成要素の混同を避けるために付したものであり、数的に限定するものではないことを付記する。

[0039]

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

[0040]

また、本明細書等において、トランジスタとは、ゲートと、ドレインと、ソースとを含む少なくとも三つの端子を有する素子である。そして、ドレイン（ドレイン端子、ドレイン領域またはドレイン電極）とソース（ソース端子、ソース領域またはソース電極）の間にチャンネル領域を有しており、チャンネル形成領域と介して、ソースとドレインとの間に電流を流すことができるものである。なお、本明細書等において、チャンネル領域とは、電流が主として流れる領域をいう。

[0041]

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、本明細書等においては、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。

[0042]

また、本明細書等において、「電氣的に接続」には、「何らかの電氣的作用を有するもの」を介して接続されている場合が含まれる。ここで、「何らかの電氣的作用を有するもの」は、接続対象間での電気信号の授受を可能とするものであれば、特に制限を受けない。例えば、「何らかの電氣的作用を有するもの」には、電極や配線をはじめ、トランジスタなどのスイッチング素子、抵抗素子、インダクタ、キャパシタ、その他の各種機能を有する素子などが含まれる。

[0043]

また、本明細書等において、酸化窒化シリコン膜とは、その組成として、窒素よりも酸素の含有量が多い膜を指し、窒化酸化シリコン膜とは、その組成として、酸素よりも窒素の含有量が多い膜を指す。

[0044]

また、本明細書等において、図面を用いて発明の構成を説明するにあたり、同じものを指す符号は異なる図面間でも共通して用いる場合がある。

[0045]

また、本明細書等において、「平行」とは、二つの直線が -10° 以上 10° 以下の角度で配置されている状態をいう。したがって、 -5° 以上 5° 以下の場合も含まれる。また、「略平行」とは、二つの直線が -30° 以上 30° 以下の角度で配置されている状態をいう。また、「垂直」とは、二つの直線が 80° 以上 100° 以下の角度で配置されている状態をいう。したがって、 85° 以上 9

5° 以下の場合も含まれる。また、「略垂直」とは、二つの直線が60° 以上120° 以下の角度で配置されている状態をいう。

[0046]

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、場合によっては、互いに入れ替えることが可能である。例えば、「導電層」という用語を、「導電膜」という用語に変更することが可能な場合がある。または、例えば、「絶縁膜」という用語を、「絶縁層」という用語に変更することが可能な場合がある。

[0047]

なお、「半導体」と表記した場合でも、例えば、導電性が十分低い場合は「絶縁体」としての特性を有する場合がある。また、「半導体」と「絶縁体」は境界が曖昧であり、厳密に区別できない場合がある。したがって、本明細書に記載の「半導体」は、「絶縁体」と言い換えることができる場合がある。同様に、本明細書に記載の「絶縁体」は、「半導体」と言い換えることができる場合がある。

[0048]

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

[0049]

(実施の形態1)

本実施の形態では、本発明の一態様に係る金属酸化物、及びそれらを成膜するための複合ターゲットについて説明する。

[0050]

本実施の形態に示す金属酸化物は、少なくともインジウムを含むことが好ましい。特にインジウムおよび亜鉛を含むことが好ましい。また、それらに加えて、元素M (元素Mは、Ga、Al、Si、B、Y、Ti、Fe、Ni、Ge、Zr、Mo、La、Ce、Nd、Hf、Ta、W、Mg、V、Be、またはCuのいずれか一つ、または複数) が含まれている。

[0051]

図5に示すように、本実施の形態に係る金属酸化物35は、層001と層002が交互に積層された多層構造を有しており、超格子構造のような構造とすることができる。金属酸化物35において、層001は導電性領域として機能し、層002は絶縁性領域として機能する。層001には主成分としてインジウムが含まれ、層002には主成分として元素Mが含まれる。

[0052]

言い換えると、本発明の一態様に係る金属酸化物は、物理特性が異なる材料が混合した、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) の一種である。

[0053]

ここで、本明細書等において、本発明の一態様である金属酸化物が、導電体の機能を有する領域と、誘電体の機能を有する領域とを有し、材料の全体では半導体としての機能する場合、CAC (C1o

ud-Aligned Composite)-OS(Oxide Semiconductor)、またはCAC-metal oxideということもできる。

[0054]

なお、本明細書等において、超格子構造とは、厚さの薄い膜を周期的、または一部周期的に積層させ、複数の積層膜を相互作用させる構造を表している。また、本明細書等において、超格子構造の結晶構造は、特に限定されない。例えば、本発明の一態様の超格子構造は、高分解能のTEMにて観察した場合において、超格子構造内に、結晶格子が明確に確認される場合、及び結晶格子が明確に確認されない場合のいずれか一方または双方を含む。

[0055]

<スパッタリング装置>

まず、図1乃至図3を用いて、金属酸化物を成膜するためのスパッタリング装置の成膜室の構成について説明する。図1は、スパッタリング装置の成膜室における、スパッタリングターゲット、シャッタ及び基板を示す模式図である。

[0056]

図1に示すように、本実施の形態に示すスパッタリング装置は、スパッタリングターゲット11aと、スパッタリングターゲット11bと、スパッタリングターゲット12と、切欠き部67（またはスリット部ということもできる。）が設けられたシャッタ66と、を有している。また、スパッタリングターゲット11a、スパッタリングターゲット11b及びスパッタリングターゲット12に対向して基板60を配置することができる。スパッタリングターゲット11aは、バックングプレート50a上に配置される。同様に、スパッタリングターゲット11bはバックングプレート50b上に、スパッタリングターゲット12はバックングプレート50c上に配置される。

[0057]

ここで、スパッタリングターゲット11a及びスパッタリングターゲット11bは、導電性材料を含み、スパッタリングターゲット12は絶縁性材料（誘電性材料ということもできる。）を含む。図5に示す金属酸化物35において、層001は導電性材料を含むスパッタリングターゲットのスパッタ粒子を主成分とする層である。また、層002は絶縁性材料を含むスパッタリングターゲットのスパッタ粒子を主成分とする層である。

[0058]

導電性材料としては、インジウムおよび／または亜鉛などを含むことが好ましい。また、導電性材料としては、インジウムおよび／または亜鉛の酸化物、窒化物および／または酸窒化物を含むことが好ましい。絶縁性材料としては、上記の元素M（元素Mは、Ga、Al、Si、B、Y、Ti、Fe、Ni、Ge、Zr、Mo、La、Ce、Nd、Hf、Ta、W、Mg、V、Be、またはCuのいずれか一つ、または複数）を含むことが好ましい。また、絶縁性材料としては、元素Mの酸化物、窒化物および／または酸窒化物を含むことが好ましい。

[0059]

例えば、スパッタリングターゲット11aがインジウム酸化物を含み、スパッタリングターゲット11bが亜鉛酸化物を含み、スパッタリングターゲット12が元素Mの酸化物を含む構成とすればよい。ただし、スパッタリングターゲットの個数はこれに限られるものではない。スパッタリングターゲットは、導電性材料を含むスパッタリングターゲットと絶縁性材料を含むスパッタリングターゲット

ト少なくとも１個ずつ、計２個以上設ける構成にすればよい。

[0060]

また、スパッタリングターゲットは、一部に結晶構造を有してもよい。例えば、微結晶構造（*n c (n a n o - c r y s t a l)*）構造という場合もある。）または多結晶構造を有してもよい。スパッタリングターゲット１１a、スパッタリングターゲット１１bおよび／またはスパッタリングターゲット１２が微結晶構造を有する場合、当該微結晶の径が０．５nm以上３nm以下、または１nm以上２nm以下、またはその近傍値となることが好ましい。

[0061]

また、図１では、スパッタリングターゲット１１a、スパッタリングターゲット１１bおよびスパッタリングターゲット１２の形状を円板状（円柱状ということもできる）にしているが、スパッタリングターゲットの形状は、これに限定されるものではない。例えば、スパッタリングターゲット１１a、スパッタリングターゲット１１bおよびスパッタリングターゲット１２の形状を直方体状にしてもよい。

[0062]

シャッタ６６は、スパッタリングターゲット１１a、スパッタリングターゲット１１bおよびスパッタリングターゲット１２と、基板６０（基板６０が配置される基板ホルダと言い換えることもできる。）との間に位置する。シャッタ６６は、扁平な形状であることが好ましい。シャッタ６６の一方の面がスパッタリングターゲット１１a、スパッタリングターゲット１１bおよびスパッタリングターゲット１２の一方の面と対向されることが好ましい。また、シャッタ６６の他方の面が基板６０の一方の面と対向されることが好ましい。

[0063]

シャッタ６６は、シャッタ６６上面または下面に垂直な軸（以下、シャッタ６６に垂直な軸という場合がある。）を回転軸として、回転させることができる構成とすることが好ましい。例えば、シャッタ６６の上または下からシャッタ６６を支持する支柱を設け、当該支柱にシャッタ６６を回転させる機構を設ければよい。

[0064]

ここで、図２を用いてシャッタ６６の回転について説明する。図２は、基板６０側からシャッタ６６を見た図面である。図２（A）は、シャッタ６６の切欠き部６７がスパッタリングターゲット１１aと重なった状態であり、図２（B）は、シャッタ６６の切欠き部６７がスパッタリングターゲット１１bと重なった状態であり、図２（C）は、シャッタ６６の切欠き部６７がスパッタリングターゲット１２と重なった状態である。

[0065]

図２（A）では、基板６０（基板ホルダ）が切欠き部６７を介してスパッタリングターゲット１１aと対向される。図２（B）では、基板６０（基板ホルダ）が切欠き部６７を介してスパッタリングターゲット１１bと対向される。図２（C）では、基板６０（基板ホルダ）が切欠き部６７を介してスパッタリングターゲット１２と対向される。このように、シャッタ６６を回転させることにより、基板６０（基板ホルダ）と対向されるスパッタリングターゲットを選択することができる。よって、本実施の形態に示すスパッタリング装置を用いて成膜するときに、シャッタ６６を回転させることにより、各スパッタリングターゲットから弾き出されたスパッタリング粒子を基板６０に層状に積層し

て成膜することが可能となる。これにより、基板 6 0 上に層 0 0 1 及び層 0 0 2 が繰り返し積層された構造の金属酸化物 3 5 を成膜することができる。

[0066]

また、本実施の形態に示すスパッタリング装置では、シャッタ 6 6 が各スパッタリングターゲットに対して相対的に、回転させることができればよい。例えば、シャッタ 6 6 を固定して、スパッタリングターゲット 1 1 a、スパッタリングターゲット 1 1 b 及びスパッタリングターゲット 1 2 を、シャッタ 6 6 に垂直な軸を回転軸として回転させる機構を設けてもよい。

[0067]

また、図 1 などに示すように、シャッタ 6 6 には略扇形状の切欠き部 6 7 が設けられているが、本実施の形態に示すシャッタ 6 6 はこれに限られるものではない。例えば、図 3 (A) に示すように、シャッタの円周部分がつながっており、開口部 6 7 a が設けられたシャッタ 6 6 a を有する構成としてもよい。また、例えば、図 3 (B) に示すように、開口部の形状が円形または略円形状の開口部 6 7 b が設けられたシャッタ 6 6 b を有する構成としてもよい。また、例えば、図 3 (C) に示すように、シャッタ 6 6 b の開口部 6 7 b の円周部近傍に対応する部分を除去して切欠き部 6 7 c を設けたシャッタ 6 6 c を有する構成としてもよい。

[0068]

また、図 1 などでは、シャッタ 6 6 を扁平な円板状の形状としているが、本実施の形態に示すシャッタ 6 6 はこれに限られるものではない。例えば、シャッタ 6 6 を扁平な直方体状の形状としてもよい。

[0069]

次に、図 4 を用いて、スパッタリング装置の成膜室の構成例について説明する。図 4 は、スパッタリング装置が有する成膜室 4 1 を説明する断面図である。

[0070]

図 4 に示す成膜室 4 1 は、マグネットユニット 5 4 a と、マグネットユニット 5 4 b と、マグネットユニット 5 4 c と、ターゲットホルダ 5 2 a と、ターゲットホルダ 5 2 b と、ターゲットホルダ 5 2 c と、バックングプレート 5 0 a と、バックングプレート 5 0 b と、バックングプレート 5 0 c と、スパッタリングターゲット 1 1 a と、スパッタリングターゲット 1 1 b と、スパッタリングターゲット 1 2 と、シャッタ 6 6 と、基板ホルダ 6 2 と、を有する。

[0071]

なお、成膜室 4 1 に基板 6 0 を搬入する場合、基板 6 0 は基板ホルダ 6 2 に接して配置される。基板ホルダ 6 2 は、シャッタ 6 6 に垂直な軸を回転軸として、回転させることができる機構を備えていてもよい。このとき、基板ホルダ 6 2 の回転軸とシャッタ 6 6 の回転軸は重なることが好ましい。このような構成とすることにより、基板 6 0 に各ターゲットから成膜される層の面内分布をより均一に近づけることができる。このとき、基板ホルダ 6 2 の回転速度とシャッタ 6 6 の回転速度を異ならせることで、基板 6 0 に各ターゲットから成膜される層の面内分布をより均一に近づけることができる。

[0072]

また、基板ホルダ 6 2 は、シャッタ 6 6 の切欠き部 6 7 の回転に同調させて、基板 6 0 を回転させる機構を有する構成としてもよい。例えば、切欠き部 6 7 の回転に合わせて基板 6 0 を回転させ、切欠き部 6 7 と基板 6 0 が向き合ったまま成膜できる構成にすればよい。このような構成とすることにより、

より、基板60に各ターゲットから成膜される層の面内分布をより均一に近づけることができる。

[0073]

スパッタリングターゲット11aは、バックングプレート50a上に配置される。また、バックングプレート50aは、ターゲットホルダ52a上に配置される。また、マグネットユニット54aは、バックングプレート50aを介してスパッタリングターゲット11a下に配置される。また、スパッタリングターゲット11bは、バックングプレート50b上に配置される。また、バックングプレート50bは、ターゲットホルダ52b上に配置される。また、マグネットユニット54bは、バックングプレート50bを介してスパッタリングターゲット11b下に配置される。また、スパッタリングターゲット12は、バックングプレート50c上に配置される。また、バックングプレート50cは、ターゲットホルダ52c上に配置される。また、マグネットユニット54cは、バックングプレート50cを介してスパッタリングターゲット12下に配置される。

[0074]

ターゲットホルダ52aとバックングプレート50aとは、ネジ（ボルトなど）を用いて固定されており、等電位となる。また、ターゲットホルダ52aは、バックングプレート50aを介してスパッタリングターゲット11aを支持する機能を有する。また、ターゲットホルダ52bとバックングプレート50bとは、ネジ（ボルトなど）を用いて固定されており、等電位となる。また、ターゲットホルダ52bは、バックングプレート50bを介してスパッタリングターゲット11bを支持する機能を有する。また、ターゲットホルダ52cとバックングプレート50cとは、ネジ（ボルトなど）を用いて固定されており、等電位となる。また、ターゲットホルダ52cは、バックングプレート50cを介してスパッタリングターゲット12を支持する機能を有する。

[0075]

バックングプレート50aは、スパッタリングターゲット11aを固定する機能を有する。また、バックングプレート50bは、スパッタリングターゲット11bを固定する機能を有する。また、バックングプレート50cは、スパッタリングターゲット12を固定する機能を有する。

[0076]

マグネットユニット54aは、マグネット54aNと、マグネット54aSと、マグネットホルダ56aと、を有する。なお、マグネットユニット54aにおいて、マグネット54aN及びマグネット54aSは、マグネットホルダ56a上に配置される。また、マグネット54aNは、マグネット54aSと間隔を空けて配置される。

[0077]

なお、マグネットユニット54aにおいて、マグネット54aNとマグネット54aSとは、それぞれスパッタリングターゲット11a側に異なる極を向けて配置されている。ここでは、マグネット54aNをスパッタリングターゲット11a側がN極となるように配置し、マグネット54aSをスパッタリングターゲット11a側がS極となるように配置するものとする。ただし、マグネットユニット54aにおけるマグネットおよび極の配置は、この配置に限定されるものではない。また、図4に示す配置に限定されるものでもない。

[0078]

また、マグネットユニット54aは、回転または揺動させられる構造とすることが好ましい。例えば、マグネットユニット54aの上面から見た形状を円形または略円形状にすることで、容易に回転

させることができる。また、例えば、マグネットユニット54aの上面から見た形状を長方形または略長形状にすることで、容易に揺動させることができる。例えば、マグネットユニット54aを、0.1Hz以上1kHz以下のビート（リズム、拍子、パルス、周波、周期またはサイクルなどと言い換えてもよい。）で回転または揺動させればよい。

[0079]

スパッタリングターゲット11a上の磁場は、マグネットユニット54aの回転または揺動とともに変化する。磁場の強い領域は高密度プラズマ領域となるため、その近傍においてスパッタリングターゲット11aのスパッタリング現象が起こりやすい。

[0080]

また、マグネットユニット54bは、マグネット54bNと、マグネット54bSと、マグネットホルダ56bと、を有する。また、マグネットユニット54cは、マグネット54cNと、マグネット54cSと、マグネットホルダ56cと、を有する。マグネットユニット54b及びマグネットユニット54cは、マグネットユニット54aと同様の構造を有する。

[0081]

なお、スパッタリングターゲット11a、バックングプレート50a及びターゲットホルダ52aと、スパッタリングターゲット11b、バックングプレート50b及びターゲットホルダ52bと、スパッタリングターゲット12、バックングプレート50c及びターゲットホルダ52cと、は部材によって離間される構成とすることが好ましい。なお、当該部材は絶縁体であることが好ましい。ただし、当該部材が導電体または半導体であっても構わない。また、当該部材が、導電体または半導体の表面を絶縁体で覆ったものであっても構わない。

[0082]

なお、図4では、平行平板型のスパッタリング装置の例について示したが、本実施の形態に係るスパッタリング装置はこれに限られるものではない。例えば、対向ターゲット型のスパッタリング装置に図1に示す構成を用いてもよい。

[0083]

<金属酸化物の成膜フロー>

次に、本実施の形態に係るスパッタリングターゲットを用いて、金属酸化物を成膜する方法について、第1乃至第4の工程に分けて説明する。

[0084]

第1の工程は、成膜室に基板を配置する工程を有する。

[0085]

第1の工程としては、例えば、図4に示す成膜室41が有する基板ホルダ62に基板60を配置する。

[0086]

成膜時の基板60の温度は、金属酸化物の電気的な性質に影響する。基板温度が高いほど、金属酸化物の結晶性を高め、信頼性を高めることができる。一方、基板温度が低いほど、金属酸化物の結晶性を低くし、キャリア移動度を高めることができる。特に、成膜時の基板温度が低いほど、金属酸化物を有するトランジスタにおいて、低いゲート電圧（例えば0Vより大きく2V以下）における電界効果移動度の向上が顕著となる。

[0087]

基板60の温度としては、室温（25℃）以上150℃以下、好ましくは室温以上130℃以下とすればよい。基板温度を上記範囲とすることで、大面積のガラス基板（例えば、先に記載の第8世代または第10世代のガラス基板）を用いる場合に好適である。特に、金属酸化物の成膜時における基板温度を室温、別言すると意図的に加熱しない状態とすることで、基板の撓みまたは歪みを抑制することができるため好適である。

[0088]

また、基板ホルダ62に冷却機構等を設け、基板60を冷却する構成としてもよい。

[0089]

また、基板60の温度を100℃以上130℃以下とすることにより、金属酸化物中の水を除去することができる。このように不純物である水を除去することで、電界効果移動度の向上を図りながら、信頼性の向上を図ることができる。

[0090]

また、基板60の温度を100℃以上130℃以下として水を除去することにより、スパッタリング装置に、過剰な熱による歪みが生じることを防ぐことができる。これにより、半導体装置の生産性向上を図ることができる。よって、生産性が安定するため、大規模な生産装置を導入しやすいので、大面積の基板を用いた大型の表示装置を容易に製造することができる。

[0091]

また、基板60の温度を室温以上150℃以下として成膜を行うことにより、金属酸化物中の浅い欠陥準位（sDOSともいう）の低減を図ることができる。

[0092]

第2の工程は、成膜室にガスを導入する工程を有する。

[0093]

第2の工程としては、例えば、図4に示す成膜室41にガスを導入する。当該ガスとしては、アルゴンガス、酸素ガス及び窒素ガスのいずれか一または複数を導入すればよい。なお、アルゴンガスに代えてヘリウム、キセノン、クリプトン等の不活性ガスを用いてもよい。

[0094]

酸素ガスを用いて金属酸化物を成膜する場合、酸素流量比が小さいほど、金属酸化物のキャリア移動度を高めることができる。特に、酸素流量比が小さいほど、金属酸化物を有するトランジスタにおいて、低いゲート電圧（例えば0Vより大きく2V以下の範囲）における電界効果移動度の向上が顕著となる。

[0095]

酸素流量比は、金属酸化物の用途に応じた好ましい特性を得るために、0%以上30%以下の範囲で適宜設定することができる。このとき、例えば、成膜ガスをアルゴンガスと酸素ガスの混合ガスにすることができる。さらに、成膜ガスに酸素ガスを含ませることにより、成膜される金属酸化物の酸素欠損量を低減することができる。このように、酸素欠損量を低減することで、金属酸化物の信頼性向上を図ることができる。

[0096]

例えば、電界効果移動度の高いトランジスタの半導体層に用いる場合には、金属酸化物の成膜時に

における酸素流量比として、0%以上30%以下、好ましくは5%以上20%以下とする。

[0097]

成膜ガスに窒素ガスを含めて成膜することにより、各スパッタリングターゲットが窒素を含まない構成であっても、窒素を有する層を金属酸化物中に形成することができる。窒素ガスを添加して窒素を有する層を金属酸化物中に形成する場合、窒素流量比を大きくし、層001に十分な量の窒素を含ませることで、キャリア移動度を高めることができる。層001に十分な量の窒素を含ませることで、金属酸化物を有するトランジスタにおいて、低いゲート電圧(例えば0Vより大きく2V以下の範囲)における電界効果移動度の向上が顕著となる。

[0098]

窒素流量比は、金属酸化物の用途に応じた好ましい特性を得るために、10%以上100%以下の範囲で適宜設定することができる。このとき、例えば、成膜ガスを窒素ガスとアルゴンガスの混合ガスにすることができる。また、成膜ガスを、窒素ガスと酸素ガスの混合ガスとしてもよいし、窒素ガスと酸素ガスとアルゴンガスの混合ガスとしてもよい。

[0099]

さらに、成膜ガスに窒素ガスを含ませることにより、成膜される金属酸化物の酸素欠損に相当するサイトを窒素で補填し、金属酸化物の酸素欠損量を低減することができる。このとき、スパッタリングターゲット12に含まれる元素Mとして酸素と結合力の強い元素(例えば、シリコン、アルミニウムなど)を用いている場合、金属酸化物の酸素欠損に相当するサイトを、当該元素Mによって補填することができる。このようにすることで、成膜ガス中の酸素を低減、または成膜ガスに酸素を含まない構成としても、金属酸化物の酸素欠損の低減を図ることができる。さらに、金属酸化物中の酸素量を低減し、窒素量を増加させることにより、金属酸化物のキャリア移動度を向上させることができる。

[0100]

また、スパッタリング時に成膜ガスとして酸素ガスを用いる場合、当該酸素ガスが負イオン化し、成膜中の金属酸化物に衝突して、当該金属酸化物が損傷する場合がある。これに対して上記のように、成膜ガス中の酸素を低減、または成膜ガスに酸素を含まない構成とすることにより、金属酸化物が損傷することを防ぐことができる。

[0101]

なお、各スパッタリングターゲットのいずれかに窒素を含むターゲットを用いる場合には、窒素を有する金属酸化物を成膜する場合でも、成膜ガスとして窒素を用いない構成にすることができる。

[0102]

また、スパッタリングガスの高純度化も必要である。例えば、スパッタリングガスとして用いる酸素ガス、窒素ガス、及びアルゴンガスは、露点が-40℃以下、好ましくは-80℃以下、より好ましくは-100℃以下、より好ましくは-120℃以下にまで高純度化したガスを用いることで金属酸化物に水分等が取り込まれることを可能な限り防ぐことができる。

[0103]

また、スパッタリング法で金属酸化物を成膜する場合、スパッタリング装置におけるチャンバーは、クライオポンプのような吸着式の真空排気ポンプを用いて高真空(5×10^{-7} Pa から 1×10^{-4} Pa 程度まで)排気することが好ましい。または、ターボ分子ポンプとコールドトラップを組み合わせで排気系からチャンバー内に気体が逆流しないようにしておくことが好ましい。

[0104]

第3の工程は、各スパッタリングターゲットに電圧を印加する工程を有する。

[0105]

第3の工程としては、例えば、図4に示すターゲットホルダ52a、ターゲットホルダ52bおよび/またはターゲットホルダ52cに電圧を印加する。一例としては、ターゲットホルダ52aに接続する端子V1aに印加される電位を、基板ホルダ62に接続する端子V2に印加される電位よりも低い電位とする。なお、ターゲットホルダ52bに接続する端子V1b、およびターゲットホルダ52cに接続する端子V1cについても、端子V1aと同様の電位とすることができる。また、基板ホルダ62に接続する端子V2に印加される電位を、接地電位とする。また、マグネットホルダ56aに接続する端子V3aに印加される電位を、接地電位とする。なお、マグネットホルダ56bに接続する端子V3b、およびマグネットホルダ56cに接続する端子V3cについても、端子V3aと同様の電位とすることができる。

[0106]

なお、端子V1a、端子V1b、端子V1c、端子V2、端子V3a、端子V3b、及び端子V3cに印加される電位は上記の電位に限定されない。また、ターゲットホルダ、基板ホルダ、マグネットホルダの全てに電位が印加されなくても構わない。例えば、基板ホルダが電氣的にフローティング状態であってもよい。なお、端子V1a、端子V1bおよび端子V1c、には、印加する電位の制御が可能な電源が電氣的に接続されているものとする。電源には、DC電源、AC電源、またはRF電源を用いればよい。

[0107]

第4の工程は、シャッタ66を回転させながら各スパッタリングターゲットから基板上に金属酸化物を堆積する工程を有する。

[0108]

第4の工程としては、例えば、図4に示す成膜室41中で、アルゴンガス、窒素ガスまたは酸素ガスが電離し、陽イオンと電子とに分かれてプラズマを形成する。その後、プラズマ中の陽イオンは、ターゲットホルダ52a、52b、52cに印加された電位によって、スパッタリングターゲット11a、スパッタリングターゲット11bおよびスパッタリングターゲット12に向けて加速される。陽イオンが、スパッタリングターゲット11a、スパッタリングターゲット11b、およびスパッタリングターゲット12に衝突することで、スパッタ粒子が生成される。

[0109]

このときシャッタ66が回転しているので、切欠き部67がスパッタリングターゲット11aと重なっている期間は、基板60にスパッタリングターゲット11aから弾き出されたスパッタリング粒子が主に堆積される。同様に、切欠き部67がスパッタリングターゲット11bと重なっている期間は、基板60にスパッタリングターゲット11bから弾き出されたスパッタリング粒子が主に堆積され、切欠き部67がスパッタリングターゲット12と重なっている期間は、基板60にスパッタリングターゲット12から弾き出されたスパッタリング粒子が主に堆積される。

[0110]

このように成膜を行うことにより、スパッタリングターゲット11aおよび/またはスパッタリングターゲット11bに含まれる導電性材料を主成分とする層001と、スパッタリングターゲット1

2に含まれる絶縁性材料を主成分とする層002と、を繰り返し積層することができる。これにより、層001と層002が繰り返し積層された超格子構造のような金属酸化物35を成膜することができる。

[0111]

このとき、基板ホルダ62を回転させながら成膜してもよい。これにより、各スパッタリングターゲットから弾き出されるスパッタリング粒子を、スパッタリングターゲットの位置に依らず、基板60の面内に広く分布させることができるので、基板60に成膜される層の面内分布をより均一に近づけることができる。

[0112]

なお、第4の工程中、全てのターゲットからスパッタリング粒子が弾き出されているので、切欠き部67が重なっていないターゲットから弾き出されたスパッタリング粒子が、基板60に堆積されることもある。つまり、層001に絶縁性材料が含まれる場合、または層002に導電性材料が含まれる場合がある。

[0113]

また、上記においては、各スパッタリングターゲットの端子V1a、V1b、V1cに電圧を印加し、並行してシャッタ66を回転しながら金属酸化物を成膜する方法について説明したが、本実施の形態に係るスパッタリング装置の成膜方法はこれに限られるものではない。例えば、1個のスパッタリングターゲットを選択してターゲットホルダ、マグネットホルダに電圧を印加し、シャッタ66の切欠き部67が当該スパッタリングターゲットの上に重なるようにシャッタ66を固定して基板60に一つの層を成膜する。各ターゲットについて同様の工程を繰り返して導電性材料を含む層と絶縁性材料を含む層を積層して金属酸化物35を成膜してもよい。

[0114]

<金属酸化物の構成>

次に、本発明の一態様に係る金属酸化物35について図5を用いて説明する。図5に示すように、本実施の形態に係る金属酸化物35は、層001と層002が交互に積層された多層構造を有しており、超格子構造のような構造とすることができる。ここで、層001は層002よりバンドギャップが小さい。金属酸化物35において、層001は導電性領域として機能し、層002は絶縁性領域として機能する。

[0115]

金属酸化物35において、少なくとも層001と層002が一層以上ずつ設けられる。また、層001の膜厚は、0.1nm以上5.0nm以下とすることが好ましく、0.5nm以上2.0nm以下とすることがより好ましい。また、層002の膜厚は、0.1nm以上5.0nm以下とすることが好ましく、0.1nm以上3.0nm以下とすることがより好ましい。

[0116]

層001は、インジウムおよび／または亜鉛などを含むことが好ましい。また、層001は、インジウムおよび／または亜鉛の酸化物を含むことが好ましい。また、層001にさらに窒素が含まれる構成としてもよい。例えば、層001は、インジウム酸化物、インジウム亜鉛酸化物、窒素を含むインジウム亜鉛酸化物、インジウム亜鉛窒化物、窒素を含むインジウムガリウム亜鉛酸化物などを用いることができる。

[0117]

層002は、元素M（元素Mは、Al、Ga、Si、B、Y、Ti、Fe、Ni、Ge、Zr、Mo、La、Ce、Nd、Hf、Ta、W、Mg、V、Be、またはCuのいずれか一つ、または複数）、および／または元素Mの酸化物を含むことが好ましい。また、層002にさらに窒素が含まれる構成としてもよい。例えば、層002はガリウム酸化物、ガリウム亜鉛酸化物、インジウムガリウム亜鉛酸化物などにすることができる。

[0118]

なお、上記のように、層001に層002の主成分である元素Mが含まれる場合もある。また、層002に層001の主成分であるインジウム、または亜鉛が含まれる場合もある。

[0119]

金属酸化物35は、層001と層002が交互に積層された多層構造を有する。金属酸化物35をトランジスタの活性層として用いる場合、層001と層002とが電氣的に相互作用を及ぼすため、トランジスタをオン状態にする方向の電位がゲートに印加されると、層001が主な伝導経路となって電子が流れると同時に、層002にも電子が流れる。このため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および高い電界効果移動度を得ることができる。

[0120]

層001のキャリア密度は、 $6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下とする。また、層001は縮退していてもよい。

[0121]

次に、ゲートににしきい値電圧未満の電圧を印加することで、層002は、誘電体（絶縁体）として振る舞うので、層002中の伝導経路は遮断される。また、層001は上下に層002が接している。層002は、自らに加えて層001へ電氣的に相互作用を及ぼし、層001中の伝導経路すらも遮断する。これで金属酸化物35全体が非導通状態となり、トランジスタはオフ状態となる。

[0122]

従って、本発明の一態様の金属酸化物をトランジスタに用いた場合、層001に起因する導電性と、層002に起因する絶縁性とが、相補的に作用することにより、高いオン電流（ I_{on} ）、高い電界効果移動度（ μ ）、および、低いオフ電流（ I_{off} ）を実現することができる。

[0123]

以上、本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態または他の実施例に示す構成と適宜、組み合わせる用いることができる。

[0124]

（実施の形態2）

本実施の形態では、先の実施の形態に示す金属酸化物を活性層に用いたトランジスタの構成について図6乃至図8を用いて説明する。

[0125]

<トランジスタの構成1>

図6（A）は、本発明の一態様であるトランジスタの上面図である。また、図6（B）は、図6（A）にA3-A4の一点鎖線で示す部位の断面図である。つまりトランジスタのチャネル形成領域におけるチャネル幅方向の断面図をしめす。図6（C）は、図6（A）にA1-A2の一点鎖線で示す部位の断面図である。つまりトランジスタのチャネル長方向の断面図をしめす。図6（A）の上面図では、

図の明瞭化のために一部の要素を省いて図示している。

[0126]

図6 (B) および (C) において、トランジスタは、絶縁体401b上に配置される。なお、絶縁体401bは絶縁体401a上に配置され、絶縁体401aは基板400上に配置される。トランジスタは、絶縁体301と、導電体310と、導電体310および絶縁体301上の絶縁体302と、絶縁体302上の絶縁体303と、絶縁体303上の絶縁体402と、絶縁体402上の酸化物406aと、酸化物406a上の酸化物406bと、酸化物406bの上面および側面と接する領域を有する導電体416a1および導電体416a2と、導電体416a1の側面、導電体416a2の側面および酸化物406bの上面と接する領域を有する酸化物406cと、酸化物406c上の絶縁体412と、酸化物406cと絶縁体412を介して互いに重なる領域を有する導電体404と、を有する。なお、絶縁体301は、開口部を有していて、開口部内に導電体310が設けられる。酸化物406bとして先の実施の形態に示す金属酸化物35を用いるものとする。

[0127]

また、バリア膜417a1、バリア膜417a2、絶縁体408a、絶縁体408bおよび絶縁体410が、トランジスタ上に設けられる。

[0128]

トランジスタにおいて、導電体404は第1のゲート電極としての機能を有する。また、導電体404は、酸素の透過を抑制する機能を有する導電体と積層構造とすることができる。例えば酸素の透過を抑制する機能を有する導電体を下層に成膜することで導電体404の酸化による電気抵抗値の増加を防ぐことができる。絶縁体412は第1のゲート絶縁体としての機能を有する。

[0129]

また、導電体416a1および導電体416a2は、ソース電極またはドレイン電極としての機能を有する。また、導電体416a1および導電体416a2は、酸素の透過を抑制する機能を有する導電体と積層構造とすることができる。例えば酸素の透過を抑制する機能を有する導電体を上層に成膜することで導電体416a1および導電体416a2の酸化による電気抵抗値の増加を防ぐことができる。なお、導電体の電気抵抗値の測定は、2端子法などを用いて測定することができる。

[0130]

また、バリア膜417a1およびバリア膜417a2は、水素や水などの不純物および酸素の透過を抑制する機能を有する。バリア膜417a1は、導電体416a1上にあつて、導電体416a1への酸素の拡散を防止する。バリア膜417a2は、導電体416a2上にあつて、導電体416a2への酸素の拡散を防止する。

[0131]

また、酸化物406bの構造について、図7を用いて説明する。図6 (B) 中の一点鎖線で囲まれた部分100bを拡大した図を図7 (A) に示す。また、図6 (C) 中の一点鎖線で囲まれた部分100aを拡大した断面図を図7 (B) に示す。なお、図7 (A) はトランジスタのチャネル幅方向の断面図、図7 (b) は、トランジスタのチャネル長方向の断面図である。尚、図7では一部の構成を省略して示す。

[0132]

図7に示すように酸化物406bは、第1のバンドギャップを有する酸化物406bnと、第2の

バンドギャップを有する酸化物406bwと、を交互に積層する多層構造を有しており、超格子構造のような構造と言える。第1のバンドギャップは、第2のバンドギャップよりも小さい。ここで、酸化物406bは、先の実施の形態に示す金属酸化物35と対応している。第1のバンドギャップを有する酸化物406bnは、先の実施の形態に示す層001に対応しており、第2のバンドギャップを有する酸化物406bwは、先の実施の形態に示す層002に対応している。

[0133]

具体的には酸化物406aの上面に接するように、酸化物406bn₁が配置され、酸化物406bn₁の上面に接するように酸化物406bw₁が配置される。同様に、第1のバンドギャップを有する酸化物406bn₂、第2のバンドギャップを有する酸化物406bw₂、第1のバンドギャップを有する酸化物406bn₃、第2のバンドギャップを有する酸化物406bw₃が順に積層され、酸化物406bの最上部は第1のバンドギャップを有する酸化物406bn_nが配置される。つまり酸化物406bは、 $2 \times n - 1$ 層（nは自然数）の多層構造を有する。nは2以上、好ましくは3以上10以下とする。

[0134]

第1のバンドギャップを有する酸化物406bnの膜厚は、0.1nm以上5.0nm以下の領域を有する、好ましくは0.5nm以上2.0nm以下の領域を有する。また、第2のバンドギャップを有する酸化物406bwの膜厚は、0.1nm以上5.0nm以下の領域を有する、好ましくは0.1nm以上3.0nm以下の領域を有する。

[0135]

また、図7(A)に示すように、酸化物406cは、酸化物406bの全体を覆うように配置される。さらに、第1のゲート電極としての機能を有する導電体404は、第1のゲート絶縁体としての機能を有する絶縁体412を介して酸化物406bの全体を覆うように配置される。

[0136]

導電体416a1の端部と導電体416a2の端部との互いに向かい合う距離、即ちトランジスタのチャンネル長は、10nm以上300nm以下の領域を有するものとする、代表的には20nm以上180nm以下の領域を有するものとする。また、第1のゲート電極としての機能を有する導電体404の幅は、10nm以上300nm以下の領域を有するものとする。代表的には20nm以上180nm以下の領域を有する。

[0137]

酸化物406aおよび酸化物406cとしては、インジウムガリウム亜鉛酸化物または、元素M(元素Mは、Al、Ga、Si、B、Y、Ti、Fe、Ni、Ge、Zr、Mo、La、Ce、Nd、Hf、Ta、W、Mg、V、Be、またはCuのいずれか一つ、または複数)を含む酸化物であり、例えば、酸化ガリウム、酸化ホウ素などを用いることができる。

[0138]

第1のバンドギャップを有する酸化物406bnとしては、インジウムまたは亜鉛などを含むことが好ましい。また、窒素が含まれる構成としてもよい。例えば、インジウム酸化物、インジウム亜鉛酸化物、窒素を含むインジウム亜鉛酸化物、インジウム亜鉛窒化物、窒素を含むインジウムガリウム亜鉛酸化物などを用いることができる。

[0139]

第2のバンドギャップを有する酸化物406bwとしては、ガリウム亜鉛酸化物、インジウムガリウム亜鉛酸化物または、元素M（元素Mは、Al、Ga、Si、B、Y、Ti、Fe、Ni、Ge、Zr、Mo、La、Ce、Nd、Hf、Ta、W、Mg、V、Be、またはCuのいずれか一つ、または複数）を含むことが好ましい。例えば、酸化ガリウム、酸化ホウ素などを用いることができる。

[0140]

トランジスタは、第1のゲート電極としての機能有する導電体404に印加する電位によって、酸化物406bの抵抗を制御することができる。即ち、導電体404に印加する電位によって、ソース電極またはドレイン電極としての機能を有する導電体416a1と導電体416a2との間の導通（トランジスタがオン状態）・非導通（トランジスタがオフ状態）を制御することができる。

[0141]

また、酸化物406bの最上層である酸化物406bn-nと、ソース電極またはドレイン電極としての機能を有する導電体416a1と導電体416a2とは、酸化物406bn-nの上面および側面の一部と接している。酸化物406bn-n以外の各層は、該各層の側面の一部と接している。従って、ソース電極またはドレイン電極としての機能を有する導電体416a1と導電体416a2と酸化物406bの各層とは、電氣的に接続されている。

[0142]

チャネル形成領域を有する酸化物406bが第1のバンドギャップを有する酸化物406bnと、第2のバンドギャップを有する酸化物406bwとが、交互に積層されている構造の、トランジスタのオン状態について、第1のバンドギャップを有する酸化物406bnが、第2のバンドギャップを有する酸化物406bwで挟まれている構造を用いて説明する。

[0143]

第1のバンドギャップを有する酸化物406bnが、第2のバンドギャップを有する酸化物406bwで挟まれている構造における伝導帯下端部（以下、Ec端と表記する）近傍のバンド図を図15（A）に示す。

[0144]

図15（A）に示すように、第1のバンドギャップを有する酸化物406bnは、第2のバンドギャップを有する酸化物406bwよりバンドギャップが相対的に狭いので、第1のバンドギャップを有する酸化物406bnのEc端は、第2のバンドギャップを有する酸化物406bwのEc端よりも相対的に低い位置に存在する。

[0145]

実際の積層構造では、第1のバンドギャップを有する酸化物406bnと第2のバンドギャップを有する酸化物406bwとの接合部は、酸化物の凝集形態や組成に揺らぎが生じていることから、バンドは不連続ではなく図15（B）のように連続的に変化している。

[0146]

このような積層構造をチャネル形成領域にもつトランジスタは、第1のバンドギャップを有する酸化物406bnと第2のバンドギャップを有する酸化物406bwとが電氣的に相互作用を及ぼすため、トランジスタをオン状態にする方向の電位が第1のゲート電極の機能を有する導電体404に印加されるとEc端の低い第1のバンドギャップを有する酸化物406bnが主な伝導経路となり電子が流れると同時に、第2のバンドギャップを有する酸化物406bwにも電子が流れる。このた

め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および高い電界効果移動度を得ることができる。

[0147]

酸化物406bnのキャリア密度は、 $6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下とする。また、酸化物406bnは縮退していてもよい。

[0148]

第1のゲート電極の機能を有する導電体404にしきい値電圧未満の電圧を印加することで、第2のバンドギャップを有する酸化物406bwは、誘電体（絶縁体）として振る舞うので、酸化物406bw中の伝導経路は遮断される。また、第1のバンドギャップを有する酸化物406bnは、上下に第2のバンドギャップを有する酸化物406bwが接している。第2のバンドギャップを有する酸化物406bwは、自らに加えて第1のバンドギャップを有する酸化物406bnへ電氣的に相互作用を及ぼし、第1のバンドギャップを有する酸化物406bn中の伝導経路すらも遮断する。これで酸化物406b全体が非導通状態となり、トランジスタはオフ状態となる。

[0149]

図6(C)に示すように、酸化物406bの上面および側面は、導電体416a1および導電体416a2と接する領域を有する。また、図7(A)に示すように、酸化物406cは、酸化物406bの全体を覆うように配置される。さらに、第1のゲート電極の機能を有する導電体404は、第1のゲート絶縁体の機能を有する絶縁体412を介して酸化物406bの全体を覆うように配置される。従って、第1のゲート電極としての機能を有する導電体404の電界によって、および酸化物406b全体を電氣的に取り囲むことができる。第1のゲート電極の電界によって、チャネル形成領域を電氣的に取り囲むトランジスタの構造を、surrounded channel (s-channel) 構造とよぶ。そのため、酸化物406bの第1のバンドギャップを有する酸化物406bn全体にチャネルを形成することができるので、上述の機構により、ソースドレイン間に大電流を流すことができ、導通時の電流（オン電流）を大きくすることができる。また、酸化物406bの第2のバンドギャップを有する酸化物406bw全体が、導電体404の電界によって取り囲まれていることから、上述の機構により非導通時の電流（オフ電流）を小さくすることができる。

[0150]

また、トランジスタは、第1のゲート電極としての機能を有する導電体404と、ソース電極またはドレイン電極としての機能を有する導電体416a1および導電体416a2と、は重なる領域を有することで、導電体404と、導電体416a1と、で形成される寄生容量および、導電体404と、導電体416a2と、で形成される寄生容量を有する。

[0151]

トランジスタの構成は、導電体404と、導電体416a1と、の間には、絶縁体412、酸化物406cに加えて、バリア膜417a1を有していることで、該寄生容量を小さくすることができる。同様に、導電体404と、導電体416a2と、の間には、絶縁体412、酸化物406cに加えて、バリア膜417a2を有していることで、該寄生容量を小さくすることができる。よって、トランジスタは、周波数特性に優れたトランジスタとなる。

[0152]

また、トランジスタを上記の構成とすることで、トランジスタの動作時、例えば、導電体404と、

導電体416a1または導電体416a2との間に電位差が生じた時に、導電体404と、導電体416a1または導電体416a2と、の間のリーク電流を低減または防止することができる。

[0153]

また、導電体310は、第2のゲート電極としての機能を有する。また、導電体310は、酸素の透過を抑制する機能を有する導電体を含む多層膜とすることもできる。酸素の透過を抑制する機能を有する導電体を含む多層膜とすることで導電体310の酸化による導電率の低下を防ぐことができる。

[0154]

絶縁体302、絶縁体303および絶縁体402は第2のゲート絶縁膜としての機能を有する。導電体310へ印加する電位によって、トランジスタのしきい値電圧を制御することができる。

[0155]

<基板>

基板400としては、例えば、絶縁体基板、半導体基板または導電体基板を用いればよい。絶縁体基板としては、例えば、ガラス基板、石英基板、サファイア基板、安定化ジルコニア基板（イットリア安定化ジルコニア基板など）、樹脂基板などがある。また、半導体基板としては、例えば、シリコン、ゲルマニウムなどの単体半導体基板、または炭化シリコン、シリコンゲルマニウム、ヒ化ガリウム、リン化インジウム、酸化亜鉛、酸化ガリウムからなる化合物半導体基板などがある。さらには、前述の半導体基板内部に絶縁体領域を有する半導体基板、例えばSOI（Silicon On Insulator）基板などがある。導電体基板としては、黒鉛基板、金属基板、合金基板、導電性樹脂基板などがある。または、金属の窒化物を有する基板、金属の酸化物を有する基板などがある。さらには、絶縁体基板に導電体または半導体が設けられた基板、半導体基板に導電体または絶縁体が設けられた基板、導電体基板に半導体または絶縁体が設けられた基板などがある。または、これらの基板に素子が設けられたものを用いてもよい。基板に設けられる素子としては、容量素子、抵抗素子、スイッチ素子、発光素子、記憶素子などがある。

[0156]

また、基板400として、可とう性基板を用いてもよい。なお、可とう性基板上にトランジスタを設ける方法としては、非可とう性の基板上にトランジスタを作製した後、トランジスタを剥離し、可とう性基板である基板400に転置する方法もある。その場合には、非可とう性基板とトランジスタとの間に剥離層を設けるとよい。なお、基板400として、繊維を編みこんだシート、フィルムまたは箔などを用いてもよい。また、基板400が伸縮性を有してもよい。また、基板400は、折り曲げや引っ張りをやめた際に、元の形状に戻る性質を有してもよい。または、元の形状に戻らない性質を有してもよい。基板400は、例えば、5 μ m以上700 μ m以下、好ましくは10 μ m以上500 μ m以下、さらに好ましくは15 μ m以上300 μ m以下の厚さとなる領域を有する。基板400を薄くすると、トランジスタを有する半導体装置を軽量化することができる。また、基板400を薄くすることで、ガラスなどを用いた場合にも伸縮性を有する場合や、折り曲げや引っ張りをやめた際に、元の形状に戻る性質を有する場合がある。そのため、落下などによって基板400上の半導体装置に加わる衝撃などを緩和することができる。即ち、丈夫な半導体装置を提供することができる。

[0157]

可とう性基板である基板400としては、例えば、金属、合金、樹脂もしくはガラス、またはそれ

らの繊維などを用いることができる。可とう性基板である基板400は、線膨張率が低いほど環境による変形が抑制されて好ましい。可とう性基板である基板400としては、例えば、線膨張率が $1 \times 10^{-3}/K$ 以下、 $5 \times 10^{-5}/K$ 以下、または $1 \times 10^{-5}/K$ 以下である材質を用いればよい。樹脂としては、例えば、ポリエステル、ポリオレフィン、ポリアミド（ナイロン、アラミドなど）、ポリイミド、ポリカーボネート、アクリルなどがある。特に、アラミドは、線膨張率が低いため、可とう性基板である基板400として好適である。

[0158]

<絶縁体>

なお、トランジスタを、水素などの不純物および酸素の透過を抑制する機能を有する絶縁体で囲うことによって、トランジスタの電気特性を安定にすることができる。例えば絶縁体401a、絶縁体401b、絶縁体408aおよび絶縁体408bとして、水素などの不純物および酸素の透過を抑制する機能を有する絶縁体を用いればよい。

[0159]

水素などの不純物および酸素の透過を抑制する機能を有する絶縁体としては、例えば、ホウ素、炭素、窒素、酸素、フッ素、マグネシウム、アルミニウム、シリコン、リン、塩素、アルゴン、ガリウム、ゲルマニウム、イットリウム、ジルコニウム、ランタン、ネオジム、ハフニウムまたはタンタルを含む絶縁体を、単層で、または積層で用いればよい。

[0160]

また、例えば、絶縁体401a、絶縁体401b、絶縁体408aおよび絶縁体408bとしては、酸化アルミニウム、酸化マグネシウム、酸化ガリウム、酸化ゲルマニウム、酸化イットリウム、酸化ジルコニウム、酸化ランタン、酸化ネオジム、酸化ハフニウムまたは酸化タンタルなどの金属酸化物、窒化酸化シリコンまたは窒化シリコンなどを用いればよい。なお、絶縁体401a、絶縁体401b、絶縁体408aおよび絶縁体408bは、酸化アルミニウムを有することが好ましい。

[0161]

また、例えば、絶縁体408aは酸素を有するプラズマを用いて成膜すると下地層となる絶縁体412へ酸素を添加することができる。添加された酸素は絶縁体412で過剰酸素となり、加熱処理などを行うことで、該過剰酸素は絶縁体412を通り、酸化物406a、酸化物406bおよび酸化物406cへ添加されることによって、酸化物406a中、酸化物406b中および酸化物406c中の酸素欠陥を修復することができる。

[0162]

絶縁体401a、絶縁体401b、絶縁体408aおよび絶縁体408bが酸化アルミニウムを有することで、酸化物406a、酸化物406bおよび酸化物406cに水素などの不純物が混入することを抑制することができる。また、例えば、絶縁体401a、絶縁体401b、絶縁体408aおよび絶縁体408bが酸化アルミニウムを有することで、上述の酸化物406a、酸化物406bおよび酸化物406cへ添加された過剰酸素の外方拡散を低減することができる。

[0163]

絶縁体301、絶縁体302、絶縁体303、絶縁体402および絶縁体412としては、例えば、ホウ素、炭素、窒素、酸素、フッ素、マグネシウム、アルミニウム、シリコン、リン、塩素、アルゴン、ガリウム、ゲルマニウム、イットリウム、ジルコニウム、ランタン、ネオジム、ハフニウムまた

はタンタルを含む絶縁体を、単層で、または積層で用いればよい。例えば、絶縁体 3 0 1、絶縁体 3 0 2、絶縁体 3 0 3、絶縁体 4 0 2 および絶縁体 4 1 2 としては、酸化シリコンまたは酸化窒化シリコンを有することが好ましい。

[0164]

特に絶縁体 3 0 2、絶縁体 3 0 3、絶縁体 4 0 2 および絶縁体 4 1 2 は、比誘電率の高い絶縁体を有することが好ましい。例えば、絶縁体 3 0 2、絶縁体 3 0 3、絶縁体 4 0 2 および絶縁体 4 1 2 は、酸化ガリウム、酸化ハフニウム、アルミニウムおよびハフニウムを有する酸化物、アルミニウムおよびハフニウムを有する酸化窒化物、シリコンおよびハフニウムを有する酸化物、またはシリコンおよびハフニウムを有する酸化窒化物などを有することが好ましい。または、絶縁体 3 0 2、絶縁体 3 0 3、絶縁体 4 0 2 および絶縁体 4 1 2 は、酸化シリコンまたは酸化窒化シリコンと、比誘電率の高い絶縁体と、の積層構造を有することが好ましい。酸化シリコンおよび酸化窒化シリコンは、熱的に安定であるため、比誘電率の高い絶縁体と組み合わせることで、熱的に安定かつ比誘電率の高い積層構造とすることができる。例えば、酸化アルミニウム、酸化ガリウムまたは酸化ハフニウムを酸化物 4 0 6 c 側に有することで、酸化シリコンまたは酸化窒化シリコンに含まれるシリコンが、酸化物 4 0 6 b に混入することを抑制することができる。また、例えば、酸化シリコンまたは酸化窒化シリコンを酸化物 4 0 6 c 側に有することで、酸化アルミニウム、酸化ガリウムまたは酸化ハフニウムと、酸化シリコンまたは酸化窒化シリコンと、の界面にトラップセンターが形成される場合がある。該トラップセンターは、電子を捕獲することでトランジスタのしきい値電圧をプラス方向に変動させることができる場合がある。

[0165]

絶縁体 4 1 0 は、比誘電率の低い絶縁体を有することが好ましい。例えば、絶縁体 4 1 0 は、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化酸化シリコン、窒化シリコン、フッ素を添加した酸化シリコン、炭素を添加した酸化シリコン、炭素および窒素を添加した酸化シリコン、空孔を有する酸化シリコンまたは樹脂などを有することが好ましい。または、絶縁体 4 1 0 は、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化酸化シリコン、窒化シリコン、フッ素を添加した酸化シリコン、炭素を添加した酸化シリコン、炭素および窒素を添加した酸化シリコンまたは空孔を有する酸化シリコンと、樹脂と、の積層構造を有することが好ましい。酸化シリコンおよび酸化窒化シリコンは、熱的に安定であるため、樹脂と組み合わせることで、熱的に安定かつ比誘電率の低い積層構造とすることができる。樹脂としては、例えば、ポリエステル、ポリオレフィン、ポリアミド（ナイロン、アラミドなど）、ポリイミド、ポリカーボネートまたはアクリルなどがある。

[0166]

バリア膜 4 1 7 a 1 およびバリア膜 4 1 7 a 2 としては、水素などの不純物および酸素の透過を抑制する機能を有する絶縁体を用いればよい。バリア膜 4 1 7 a 1 およびバリア膜 4 1 7 a 2 によって、絶縁体 4 1 0 中の過剰酸素が、導電体 4 1 6 a 1 および導電体 4 1 6 a 2 への拡散することを防止することができる。

[0167]

バリア膜 4 1 7 a 1 およびバリア膜 4 1 7 a 2 としては、例えば、酸化アルミニウム、酸化マグネシウム、酸化ガリウム、酸化ゲルマニウム、酸化イットリウム、酸化ジルコニウム、酸化ランタン、酸化ネオジム、酸化ハフニウムまたは酸化タンタルなどの金属酸化物、窒化酸化シリコンまたは窒化

シリコンなどを用いればよい。なお、バリア膜417a1およびバリア膜417a2は、酸化アルミニウムを有することが好ましい。

[0168]

<導電体>

導電体404、導電体310、導電体416a1、導電体416a2としては、アルミニウム、クロム、銅、銀、金、白金、タンタル、ニッケル、チタン、モリブデン、タングステン、ハフニウム、バナジウム、ニオブ、マンガン、マグネシウム、ジルコニウム、ベリリウム、インジウムなどから選ばれた金属元素を1種以上含む材料を用いることができる。また、リン等の不純物元素を含有させた多結晶シリコンに代表される、電気伝導度が高い半導体、ニッケルシリサイドなどのシリサイドを用いてもよい。

[0169]

また、前述した金属元素および酸素を含む導電性材料を用いてもよい。また、前述した金属元素および窒素を含む導電性材料を用いてもよい。例えば、窒化チタン、窒化タンタルなどの窒素を含む導電性材料を用いてもよい。また、インジウム錫酸化物(ITO: Indium Tin Oxide)、酸化タングステンを含むインジウム酸化物、酸化タングステンを含むインジウム亜鉛酸化物、酸化チタンを含むインジウム酸化物、酸化チタンを含むインジウム錫酸化物、インジウム亜鉛酸化物、シリコンを添加したインジウム錫酸化物を用いてもよい。また、窒素を含むインジウムガリウム亜鉛酸化物を用いてもよい。

[0170]

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

[0171]

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

[0172]

<トランジスタの構成2>

図6に示すトランジスタと異なる構成のトランジスタを図8に示す。図8(A)はトランジスタの上面図である。また、図8(B)は、図8(A)にA3-A4の一点鎖線で示す部位の断面図である。つまりトランジスタのチャネル形成領域におけるチャネル幅方向の断面図を示す。図8(C)は、図8(A)にA1-A2の一点鎖線で示す部位の断面図である。つまりトランジスタのチャネル長方向の断面図を示す。図8(A)の上面図では、図の明瞭化のために一部の要素を省いて図示している。

[0173]

図8(B)および(C)において、トランジスタは、絶縁体401b上に配置される。なお、絶縁

体401bは絶縁体401a上に配置され、絶縁体401aは基板400上に配置される。トランジスタは、絶縁体301と、導電体310と、導電体310および絶縁体301上の絶縁体302と、絶縁体302上の絶縁体303と、絶縁体303上の絶縁体402と、絶縁体402上の酸化物406aと、酸化物406a上の酸化物406bと、酸化物406bの上面および側面と接する領域を有する導電体416a1および導電体416a2と、導電体416a1の側面、導電体416a2の側面および酸化物406bの上面と接する領域を有する酸化物406cと、酸化物406c上の絶縁体412と、酸化物406cと絶縁体412を介して互いに重なる領域を有する導電体404と、絶縁体410は開口部を有していて、該開口部の側面と酸化物406cおよび絶縁体412を介して導電体404と接する領域と、を有する。なお、絶縁体301は、開口部を有していて、開口部内に導電体310が設けられる。

[0174]

また、導電体416a上にバリア膜417a1が設けられ、導電体416a2上にバリア膜417a2が設けられる。また、絶縁体410上、導電体404上、酸化物406c上および絶縁体412上に絶縁体408aおよび絶縁体408bが順に設けられる。

[0175]

トランジスタにおいて、導電体404は第1のゲート電極としての機能を有する。また、導電体404は、酸素の透過を抑制する機能を有する導電体と積層構造とすることができる。例えば酸素の透過を抑制する機能を有する導電体を下層に成膜することで導電体404の酸化による電気抵抗値の増加を防ぐことができる。絶縁体412は第1のゲート絶縁体としての機能を有する。

[0176]

また、導電体416a1および導電体416a2は、ソース電極またはドレイン電極としての機能を有する。また、導電体416a1および導電体416a2は、酸素の透過を抑制する機能を有する導電体と積層構造とすることができる。例えば酸素の透過を抑制する機能を有する導電体を上層に成膜することで導電体416a1および導電体416a2の酸化による電気抵抗値の増加を防ぐことができる。なお、導電体の電気抵抗値の測定は、2端子法などを用いて測定することができる。

[0177]

また、バリア膜417a1およびバリア膜417a2は、水素や水などの不純物および酸素の透過を抑制する機能を有する。バリア膜417a1は、導電体416a1上にあつて、導電体416a1への酸素の拡散を防止する。バリア膜417a2は、導電体416a2上にあつて、導電体416a2への酸素の拡散を防止する。

[0178]

本トランジスタは、ゲート電極として機能する領域が、絶縁体410などによって形成される開口部を埋めるように自己整合 (self align) 的に形成されるので、TGSA self align self channel FET (Trench Gate Self Align self channel FET) と呼ぶこともできる。

[0179]

図8(C)において、ゲート電極としての機能を有する導電体404の底面が、絶縁体412および酸化物406cを介して、酸化物406bの上面と平行に面する領域の長さをゲート線幅と定義する。該ゲート線幅は、絶縁体410の酸化物406bに達する開口部よりも小さくすることができる。

即ち、ゲート線幅を最小加工寸法よりも小さくすることができる。具体的には、ゲート線幅は、10 nm以上300 nm以下の領域を有することができる。代表的には20 nm以上180 nm以下の領域を有することができる。

[0180]

その他の構成、効果については、トランジスタの構成1を参酌する。

[0181]

(実施の形態3)

<トランジスタの作製方法>

以下では、本発明に係る図6に示すトランジスタの作製方法を図6および図9乃至図12を用いて説明する。図6および図9乃至図12において、各図の(A)は上面図であり、各図の(B)は、(A)に示す一点鎖線A1-A2に対応する断面図である。各図の(C)は、(A)に示す一点鎖線A3-A4に対応する断面図である。

[0182]

まず、基板400を準備する。

[0183]

次に、絶縁体401aを成膜する。絶縁体401aの成膜は、スパッタリング法、化学気相成長(CVD: Chemical Vapor Deposition)法、分子線エピタキシー(MBE: Molecular Beam Epitaxy)法、パルスレーザ堆積(PLD: Pulsed Laser Deposition)法または原子層堆積(ALD: Atomic Layer Deposition)法などを用いて行うことができる。

[0184]

なお、CVD法は、プラズマを利用するプラズマCVD(PECVD: Plasma Enhanced CVD)法、熱を利用する熱CVD(TCVD: Thermal CVD)法、光を利用する光CVD(Photo CVD)法などに分類できる。さらに用いる原料ガスによって金属CVD(MCVD: Metal CVD)法、有機金属CVD(MOCVD: Metal Organic CVD)法に分けることができる。

[0185]

プラズマCVD法は、比較的低温で高品質の膜が得られる。また、熱CVD法は、プラズマを用いないため、被処理物へのプラズマダメージを小さくすることが可能な成膜方法である。例えば、半導体装置に含まれる配線、電極、素子(トランジスタ、容量素子など)などは、プラズマから電荷を受け取ることでチャージアップする場合がある。このとき、蓄積した電荷によって、半導体装置に含まれる配線、電極、素子などが破壊される場合がある。一方、プラズマを用いない熱CVD法の場合、こういったプラズマダメージが生じないため、半導体装置の歩留まりを高くすることができる。また、熱CVD法では、成膜中のプラズマダメージが生じないため、欠陥の少ない膜が得られる。

[0186]

また、ALD法も、被処理物へのプラズマダメージを小さくすることが可能な成膜方法である。また、ALD法も、成膜中のプラズマダメージが生じないため、欠陥の少ない膜が得られる。

[0187]

CVD法およびALD法は、ターゲットなどから放出される粒子が堆積する成膜方法とは異なり、被処理物の表面における反応により膜が形成される成膜方法である。したがって、被処理物の形状の

影響を受けにくく、良好な段差被覆性を有する成膜方法である。特に、ALD法は、優れた段差被覆性と、優れた厚さの均一性を有するため、アスペクト比の高い開口部の表面を被覆する場合などに好適である。ただし、ALD法は、比較的成膜速度が遅いため、成膜速度の速いCVD法などの他の成膜方法と組み合わせて用いることが好ましい場合もある。

[0188]

CVD法およびALD法は、原料ガスの流量比によって、得られる膜の組成を制御することができる。例えば、CVD法およびALD法では、原料ガスの流量比によって、任意の組成の膜を成膜することができる。また、例えば、CVD法およびALD法では、成膜しながら原料ガスの流量比を変化させることによって、組成が連続的に変化した膜を成膜することができる。原料ガスの流量比を変化させながら成膜する場合、複数の成膜室を用いて成膜する場合と比べて、搬送や圧力調整に掛かる時間の分、成膜に掛かる時間を短くすることができる。したがって、半導体装置の生産性を高めることができる場合がある。

[0189]

次に絶縁体401a上に絶縁体401bを成膜する。絶縁体401bの成膜は、スパッタリング法、CVD法、MBE法、PLD法またはALD法などを用いて行うことができる。次に絶縁体401b上に絶縁体301を成膜する。絶縁体301の成膜は、スパッタリング法、CVD法、MBE法、PLD法またはALD法などを用いて行うことができる。

[0190]

次に、絶縁体301に絶縁体401bに達する溝を形成する。溝とは、たとえば穴や開口部なども含まれる。溝の形成はウエットエッチングを用いてもよいが、ドライエッチングを用いるほうが微細加工には好ましい。また、絶縁体401bは、絶縁体301をエッチングして溝を形成する際のエッチングストップ膜として機能する絶縁体を選択することが好ましい。例えば、溝を形成する絶縁体301に酸化シリコン膜を用いた場合は、絶縁体401bは窒化シリコン膜、酸化アルミニウム膜、酸化ハフニウム膜を用いるとよい。

[0191]

本実施の形態では、絶縁体401aとして、ALD法によって酸化アルミニウムを成膜し、絶縁体401bとして、スパッタリング法を用いて酸化アルミニウムを成膜する。

[0192]

溝の形成後に、導電体310となる導電体を成膜する。導電体310となる導電体は、酸素の透過を抑制する機能を有する導電体を含むことが望ましい。たとえば、窒化タンタル、窒化タングステン、窒化チタンなどを用いることができる。またはタンタル、タングステン、チタン、モリブデン、アルミニウム、銅、モリブデントングステン合金との積層膜とすることができる。導電体310となる導電体の成膜は、スパッタリング法、CVD法、MBE法、PLD法またはALD法などを用いて行うことができる。

[0193]

本実施の形態では、導電体310となる導電体として、スパッタリング法によって窒化タンタルを成膜し、該窒化タンタル上にCVD法によって窒化チタンを成膜し、該窒化チタン上にCVD法によってタングステンを成膜する。

[0194]

次に、化学的機械研磨(Chemical Mechanical Polishing: CMP)を行うことで、絶縁体301上の導電体310となる導電体を除去する。その結果、溝部のみに、導電体310となる導電体が残存することで上面が平坦な導電体310を形成することができる。

[0195]

次に、絶縁体301上および導電体310に絶縁体302を成膜する。絶縁体302の成膜は、スパッタリング法、CVD法、MBE法、PLD法またはALD法などを用いて行うことができる。

[0196]

次に、絶縁体302上に絶縁体303を成膜する。絶縁体303の成膜は、スパッタリング法、CVD法、MBE法、PLD法またはALD法などを用いて行うことができる。

[0197]

次に、絶縁体303上に絶縁体402を成膜する。絶縁体402の成膜は、スパッタリング法、CVD法、MBE法、PLD法またはALD法などを用いて行うことができる。

[0198]

次に、第1の加熱処理を行うと好ましい。第1の加熱処理は、250℃以上650℃以下、好ましくは450℃以上600℃以下、さらに好ましくは520℃以上570℃以下で行えばよい。第1の加熱処理は、不活性ガス雰囲気、または酸化性ガスを10ppm以上、1%以上もしくは10%以上含む雰囲気で行う。第1の加熱処理は減圧状態で行ってもよい。または、第1の加熱処理は、不活性ガス雰囲気で加熱処理した後に、脱離した酸素を補うために酸化性ガスを10ppm以上、1%以上または10%以上含む雰囲気で行ってもよい。第1の加熱処理によって、絶縁体402に含まれる水素や水などの不純物を除去することなどができる。または、第1の加熱処理において、減圧状態で酸素を含むプラズマ処理を行ってもよい。酸素を含むプラズマ処理は、例えばマイクロ波を用いた高密度プラズマを発生させる電源を有する装置を用いることが好ましい。または、基板側にRF(Radio Frequency)を印加する電源を有してもよい。高密度プラズマを用いることより高密度の酸素ラジカルを生成することができ、基板側にRFを印加することで高密度プラズマによって生成された酸素ラジカルを効率よく絶縁体402内に導くことができる。または、この装置を用いて不活性ガスを含むプラズマ処理を行った後に脱離した酸素を補うために酸素を含むプラズマ処理を行ってもよい。尚、第1の加熱処理は行わなくても良い場合がある。

[0199]

次に、絶縁体402上に酸化物406a1を成膜する。酸化物406a1の成膜は、スパッタリング法、CVD法、MBE法、PLD法またはALD法などを用いて行うことができる。

[0200]

次に、酸化物406a1に酸素を添加する処理を行っても構わない。酸素を添加する処理としては、例えば、イオン注入法、プラズマ処理法などがある。なお、酸化物406a1に添加された酸素は、過剰酸素となる。

[0201]

次に酸化物406a1上に酸化物406b1を成膜する(図9(A)乃至(C)参照。)。酸化物406b1の成膜は、スパッタリング法を用いることが好ましい。本実施の形態では、第1のバンドギャップを有する酸化物406b1nの膜厚および第2のバンドギャップを有する酸化物406b1wの膜厚を1nmとし、第1のバンドギャップを有する酸化物406b1nを10層成膜する。従っ

て酸化物406b1は、19層の積層膜となり、合計の膜厚は、19nmとなる。なお、酸化物406b1の成膜方法については、実施の形態1の記載を参酌することができる。

[0202]

次に、第2の加熱処理を行ってもよい。加熱処理は、第1の加熱処理条件を用いることができる。第2の加熱処理によって、酸化物406b1の結晶性を高めることや、水素や水などの不純物を除去することなどができる。第2の加熱処理は、窒素雰囲気にて400℃の温度で1時間の処理を行った後に、連続して酸素雰囲気にて400℃の温度で1時間の処理を行うと好ましい。

[0203]

次に、酸化物406b1上にリソグラフィー法によって、レジストマスクを形成し、酸化物406b1および酸化物406a1をエッチングする。酸化物406b1および酸化物406a1のエッチングは、ドライエッチング法を用いることができる。酸化物406b1は、第1のバンドギャップを有する酸化物と第2のバンドギャップを有する酸化物とが、交互に積層された多層構造を有する。第1のバンドギャップを有する酸化物のエッチング条件と第2のバンドギャップを有する酸化物のエッチング条件と、を積層構造に合わせて、適宜エッチング条件を切り替えることが容易なドライエッチング装置を用いることが好ましい。また、第1のバンドギャップを有する酸化物と第2のバンドギャップを有する酸化物とを同一条件でエッチング出来る場合がある。酸化物406b1のエッチングに続けて、酸化物406a1のエッチングを行い、酸化物406bおよび酸化物406aを形成する(図10(A)乃至(C)参照。)

[0204]

なお、リソグラフィー法では、まず、マスクを介してレジストを露光する。次に、露光された領域を、現像液を用いて除去または残存させてレジストマスクを形成する。次に、当該レジストマスクを介してエッチング処理することで導電体、半導体または絶縁体などを所望の形状に加工することができる。例えば、KrFエキシマレーザ光、ArFエキシマレーザ光、EUV(Extreme Ultraviolet)光などを用いて、レジストを露光することでレジストマスクを形成すればよい。また、基板と投影レンズとの間に液体(例えば水)を満たして露光する、液浸技術を用いてもよい。また、前述した光に代えて、電子ビームやイオンビームを用いてもよい。なお、電子ビームやイオンビームを用いる場合には、マスクは不要となる。なお、レジストマスクの除去には、アッシングなどのドライエッチング処理を行う、ウェットエッチング処理を行う、ドライエッチング処理後にウェットエッチング処理を行う、またはウェットエッチング処理後にドライエッチング処理を行うことができる。

[0205]

ドライエッチング装置としては、平行平板型電極を有する容量結合型プラズマ(CCP:Capacitively Coupled Plasma)エッチング装置を用いることができる。平行平板型電極を有する容量結合型プラズマエッチング装置は、平行平板型電極の一方の電極に高周波電源を印加する構成でもよい。または平行平板型電極の一方の電極に複数の異なった高周波電源を印加する構成でもよい。または平行平板型電極それぞれに同じ周波数の高周波電源を印加する構成でもよい。または平行平板型電極それぞれに周波数の異なる高周波電源を印加する構成でもよい。または高密度プラズマ源を有するドライエッチング装置を用いることができる。高密度プラズマ源を有するドライエッチング装置は、例えば、誘導結合型プラズマ(ICP:Inductively Couple

d Plasma) エッチング装置などを用いることができる。

[0206]

次に、酸化物406b1上に導電体416a1および導電体416a2となる導電体を成膜する。導電体416a1および導電体416a2となる導電体の成膜は、スパッタリング法、CVD法、MBE法、PLD法またはALD法などを用いて行うことができる。導電体416a1および導電体416a2となる導電体として、導電性を有する酸化物、例えば、インジウム錫酸化物 (ITO: Indium Tin Oxide)、酸化タングステンを含むインジウム酸化物、酸化タングステンを含むインジウム亜鉛酸化物、酸化チタンを含むインジウム酸化物、酸化チタンを含むインジウム錫酸化物、インジウム亜鉛酸化物、シリコンを添加したインジウム錫酸化物、または窒素を含むインジウムガリウム亜鉛酸化物を成膜し、該酸化物上に、アルミニウム、クロム、銅、銀、金、白金、タンタル、ニッケル、チタン、モリブデン、タングステン、ハフニウム、バナジウム、ニオブ、マンガン、マグネシウム、ジルコニウム、ベリリウム、インジウムなどから選ばれた金属元素を1種以上含む材料、または、リン等の不純物元素を含有させた多結晶シリコンに代表される、電気伝導度が高い半導体、ニッケルシリサイドなどのシリサイドを成膜してもよい。

[0207]

該酸化物は、酸化物406aおよび酸化物406b中の水素を吸収および外方から拡散してくる水素を捕獲する機能を有する場合があり、トランジスタの電気特性および信頼性が向上することがある。または、該酸化物の代わりにチタンを用いても同様の機能を有する場合がある。

[0208]

次に、導電体416a1および導電体416a2となる導電体上にバリア膜417a1およびバリア膜417a2となるバリア膜を成膜する。バリア膜417a1およびバリア膜417a2となるバリア膜の成膜は、スパッタリング法、CVD法、MBE法、PLD法またはALD法などを用いて行うことができる。本実施の形態では、バリア膜417a1およびバリア膜417a2となるバリア膜として、酸化アルミニウムを成膜する。

[0209]

次に、リソグラフィー法によって、導電体416a1および導電体416a2、バリア膜417a1およびバリア膜417a2を形成する。(図11(A)乃至(C)参照。)

[0210]

次に、フッ化水素酸を純水で希釈した水溶液(希釈フッ酸液)を用いて洗浄処理を行ってもよい。希釈フッ酸液とは、純水にフッ化水素酸を約70ppmの濃度で混合させた溶液のことである。次に、第3の加熱処理を行う。加熱処理の条件は、上述の第1の加熱処理の条件を用いることができる。好ましくは、窒素雰囲気にて400℃の温度で1時間の処理を行った後に、連続して酸素雰囲気にて400℃の温度で1時間の処理を行う。

[0211]

これまでのドライエッチングを行うことによって、エッチングガスに起因した不純物が酸化物406aおよび酸化物406bなどの表面または内部に付着または拡散することがある。不純物としては、例えば、フッ素または塩素などがある。

[0212]

上述の処理を行うことで、これらの不純物濃度を低減することができる。さらに、酸化物406a

膜中および酸化物 406b 膜中の水分濃度および水素濃度を低減することができる。

[0213]

次に、酸化物 406c となる酸化物を成膜する。酸化物 406c となる酸化物の成膜は、スパッタリング法、CVD法、MBE法、PLD法またはALD法などを用いて行うことができる。特にスパッタリング法を用いて成膜することが好ましい。また、スパッタリング条件としては、酸素とアルゴンの混合ガスを用いて、好ましくは酸素分圧の高い条件、より好ましくは酸素 100%を用いた条件を用いて、室温または 100℃以上 200℃以下の温度で成膜する。

[0214]

酸化物 406c となる酸化物を上記のような条件にて成膜することによって酸化物 406a、酸化物 406b および絶縁体 402 に過剰酸素を注入することができて好ましい。

[0215]

次に、酸化物 406c となる酸化物上に絶縁体 412 となる絶縁体を成膜する。絶縁体 412 となる絶縁体の成膜は、スパッタリング法、CVD法、MBE法、PLD法またはALD法などを用いて行うことができる。

[0216]

ここで、第4の加熱処理を行うことができる。加熱処理は、第1の加熱処理条件を用いることができる。好ましくは、窒素雰囲気にて 400℃の温度で1時間の処理を行った後に、連続して酸素雰囲気にて 400℃の温度で1時間の処理を行う。該加熱処理によって、絶縁体 412 となる絶縁体中の水分濃度および水素濃度を低減させることができる。

[0217]

次に、導電体 404 となる導電体を成膜する。導電体 404 となる導電体の成膜は、スパッタリング法、CVD法、MBE法、PLD法またはALD法などを用いて行うことができる。

[0218]

導電体 404 となる導電体は、多層膜であってもよい。例えば、酸化物を上述の酸化物 406c となる酸化物と同様の条件を用いて成膜することで絶縁体 412 となる絶縁体へ酸素を添加することができる。絶縁体 412 となる絶縁体に添加された酸素は過剰酸素となる。

[0219]

次に、該酸化物上に、導電体をスパッタリング法によって成膜することによって、該酸化物の電気抵抗値を低下させることができる。

[0220]

導電体 404 となる導電体をリソグラフィー法によって加工し、導電体 404 を形成する。次に、酸化物 406c となる酸化物および絶縁体 412 となる絶縁体をリソグラフィー法によって、加工し、酸化物 406c および絶縁体 412 を形成する（図 12 (A) 乃至 (C) 参照。）。尚、本実施の形態では、導電体 404 を形成した後に酸化物 406c および絶縁体 412 を形成する一例を示しているが、酸化物 406c および絶縁体 412 を形成した後に、導電体 404 を形成しても構わない。

[0221]

次に、絶縁体 408a を成膜し、絶縁体 408a 上に絶縁体 408b を成膜する。絶縁体 408a および絶縁体 408b の成膜は、スパッタリング法、CVD法、MBE法、PLD法またはALD法などを用いて行うことができる。絶縁体 408b としては、ALD法を用いた酸化アルミニウムを成

膜することで、絶縁体408aの上面および側面に、ピンホールが少なく、かつ膜厚が均一に成膜できるので、導電体404の酸化を防止することができる。

[0222]

次に、絶縁体408b上に絶縁体410を成膜する。絶縁体410の成膜は、スパッタリング法、CVD法、MBE法、PLD法またはALD法などを用いて行うことができる。または、スピンコート法、ディップ法、液滴吐出法（インクジェット法など）、印刷法（スクリーン印刷、オフセット印刷など）、ドクターナイフ法、ロールコーター法またはカーテンコーター法などを用いて行うことができる。

[0223]

絶縁体410の成膜は、好ましくはCVD法を用いる。より好ましくはプラズマCVD法を用いて成膜する。プラズマCVD法による成膜では、絶縁体を成膜するステップ1と酸素を有するプラズマ処理を行うステップ2と、を繰り返し行ってもよい。ステップ1とステップ2と、を複数回繰り返すことで過剰酸素を含む絶縁体410を形成することができる。

[0224]

絶縁体410は、上面が平坦性を有するように形成してもよい。例えば、絶縁体410は、成膜直後に上面が平坦性を有していてもよい。または、例えば、絶縁体410は、成膜後に基板裏面などの基準面と平行になるよう絶縁体などを上面から除去していくことで平坦性を有してもよい。このような処理を、平坦化処理と呼ぶ。平坦化処理としては、CMP処理、ドライエッチング処理などがある。ただし、絶縁体410の上面が平坦性を有さなくても構わない。

[0225]

次に、第5の加熱処理を行ってもよい。加熱処理は、第1の加熱処理条件を用いることができる。好ましくは、窒素雰囲気にて400℃の温度で1時間の処理を行った後に、連続して酸素雰囲気にて400℃の温度で1時間の処理を行う。該加熱処理を行うことによって、絶縁体410中の水分濃度および水素濃度を低減させることができる。以上により、図6に示すトランジスタを作製することができる（図6（A）乃至（C）参照。）。

[0226]

以上、本実施の形態に示す構成、方法などは、他の実施の形態に示す構成、方法などと適宜組み合わせる用いることができる。

[0227]

（実施の形態4）

本実施の形態では、半導体装置の一形態を、図13および図14を用いて説明する。

[0228]

[記憶装置]

本発明の一態様である半導体装置を使用した、記憶装置の一例を図13および図14に示す。

[0229]

図13および図14に示す記憶装置は、トランジスタ900、トランジスタ800、トランジスタ700、および容量素子600を有している。

[0230]

ここで、トランジスタ700は先の実施の形態において図1等に記載したものと同様のトランジスタである。ここで図13および図14に示す、絶縁体712は絶縁体401aに、絶縁体714は絶

絶縁体401bに、絶縁体716は絶縁体301に、絶縁体720は絶縁体302に、絶縁体722は絶縁体303に、絶縁体724は絶縁体402に、絶縁体772は絶縁体408aに、絶縁体774は絶縁体408bに、絶縁体780は絶縁体410に対応する。

[0231]

トランジスタ700は、酸化物半導体を有する半導体層にチャネルが形成されるトランジスタである。トランジスタ700は、オフ電流が小さいため、これを記憶装置に用いることにより長期にわたり記憶内容を保持することが可能である。つまり、リフレッシュ動作を必要としない、あるいは、リフレッシュ動作の頻度が極めて少ないため、記憶装置の消費電力を十分に低減することができる。

[0232]

さらにトランジスタ700のバックゲートに負の電位を印加することで、トランジスタ700のオフ電流をより小さくすることができる。この場合、トランジスタ700のバックゲート電圧を維持できる構成とすることにより、電源の供給なしで長期間の記憶保持が可能となる。

[0233]

トランジスタ900は、トランジスタ700と同じ層に形成されており、並行して作製することができるトランジスタである。トランジスタ900は、絶縁体716と、絶縁体716が開口部を有していて、開口部内に導電体310a、導電体310b、導電体310cが配置され、導電体310a、導電体310b、導電体310cおよび絶縁体716上の、絶縁体720、絶縁体722および絶縁体724と、絶縁体724上の酸化物406dと、酸化物406d上の絶縁体412aと、絶縁体412a上の導電体404aと、を有する。ここで、導電体310a、導電体310bおよび導電体310cは導電体310と同じ層で、酸化物406dは酸化物406cと同じ層で、絶縁体412aは絶縁体412と同じ層で、導電体404aは導電体404と同じ層で形成される。

[0234]

導電体310aおよび導電体310cは、絶縁体720、722、724に形成された開口を介して酸化物406dと接している。よって、導電体310aまたは導電体310cは、ソース電極又はドレイン電極のいずれかとして機能できる。また、導電体404aまたは導電体310bの一方は、ゲート電極として機能でき、他方はバックゲート電極として機能できる。

[0235]

トランジスタ900の活性層として機能する酸化物406dは、酸化物406cなどと同様に、酸素欠損が低減され、水素または水などの不純物が低減されている。これにより、トランジスタ900のしきい値電圧を0Vより大きくし、オフ電流を低減し、 I_{cut} を非常に小さくすることができる。ここで、 I_{cut} とは、バックゲート電圧及びトップゲート電圧が0Vのときのドレイン電流のことを指す。

[0236]

トランジスタ700のバックゲート電圧を、トランジスタ900によって制御する。例えば、トランジスタ900のトップゲート及びバックゲートをソースとダイオード接続し、トランジスタ900のソースとトランジスタ700のバックゲートを接続する構成とする。この構成でトランジスタ700のバックゲートの負電位を保持するとき、トランジスタ900のトップゲートーソース間の電圧および、バックゲートーソース間の電圧は、0Vになる。トランジスタ900の I_{cut} は非常に小さいので、この構成とすることにより、トランジスタ700およびトランジスタ900に電源供給をし

なくともトランジスタ 700 のバックゲートの負電位を長時間維持することができる。これにより、トランジスタ 700 及びトランジスタ 900 を有する記憶装置は、長期にわたり記憶内容を保持することが可能である。

[0237]

図 13、および図 14 において、配線 3001 はトランジスタ 800 のソースと電氣的に接続され、配線 3002 はトランジスタ 800 のドレインと電氣的に接続されている。また、配線 3003 はトランジスタ 700 のソースおよびドレインの一方と電氣的に接続され、配線 3004 はトランジスタ 700 のゲートと電氣的に接続され、配線 3006 はトランジスタ 700 のバックゲートと電氣的に接続されている。そして、トランジスタ 800 のゲート、およびトランジスタ 700 のソースおよびドレインの他方は、容量素子 600 の電極の一方と電氣的に接続され、配線 3005 は容量素子 600 の電極の他方と電氣的に接続されている。配線 3007 はトランジスタ 900 のソースと電氣的に接続され、配線 3008 はトランジスタ 900 のゲートと電氣的に接続され、配線 3009 はトランジスタ 900 のバックゲートと電氣的に接続され、配線 3010 はトランジスタ 900 のドレインと電氣的に接続されている。ここで、配線 3006、配線 3007、配線 3008、及び配線 3009 が電氣的に接続されている。

[0238]

<記憶装置の構成 1>

図 13、および図 14 に示す記憶装置は、トランジスタ 800 のゲートの電位が保持可能という特性を有することで、以下に示すように、情報の書き込み、保持、読み出しが可能である。

[0239]

情報の書き込みおよび保持について説明する。まず、配線 3004 の電位を、トランジスタ 700 が導通状態となる電位にして、トランジスタ 700 を導通状態とする。これにより、配線 3003 の電位が、トランジスタ 800 のゲート、および容量素子 600 の電極の一方と電氣的に接続するノード FG に与えられる。即ち、トランジスタ 800 のゲートには、所定の電荷が与えられる（書き込み）。ここでは、異なる二つの電位レベルを与える電荷（以下 Low レベル電荷、High レベル電荷という。）のどちらかが与えられるものとする。その後、配線 3004 の電位を、トランジスタ 700 が非導通状態となる電位にして、トランジスタ 700 を非導通状態とすることにより、ノード FG に電荷が保持される（保持）。

[0240]

トランジスタ 700 のオフ電流が小さい場合、ノード FG の電荷は長期間にわたって保持される。

[0241]

次に情報の読み出しについて説明する。配線 3001 に所定の電位（定電位）を与えた状態で、配線 3005 に適切な電位（読み出し電位）を与えると、配線 3002 は、ノード FG に保持された電荷量に応じた電位をとる。これは、トランジスタ 800 を n チャンネル型とすると、トランジスタ 800 のゲートに High レベル電荷が与えられている場合の見かけ上のしきい値電圧 V_{th_H} は、トランジスタ 800 のゲートに Low レベル電荷が与えられている場合の見かけ上のしきい値電圧 V_{th_L} より低くなるためである。ここで、見かけ上のしきい値電圧とは、トランジスタ 800 を「導通状態」とするために必要な配線 3005 の電位をいうものとする。したがって、配線 3005 の電位を V_{th_H} と V_{th_L} の間の電位 V_0 とすることにより、ノード FG に与えられた電荷を判別できる。

例えば、書き込みにおいて、ノードFGにHighレベル電荷が与えられていた場合には、配線3005の電位が $V_0 (> V_{th_H})$ となれば、トランジスタ800は「導通状態」となる。一方、ノードFGにLowレベル電荷が与えられていた場合には、配線3005の電位が $V_0 (< V_{th_L})$ となっても、トランジスタ800は「非導通状態」のままである。このため、配線3002の電位を判別することで、ノードFGに保持されている情報を読み出すことができる。

[0242]

また、図13、および図14に示す記憶装置をマトリクス状に配置することで、メモリセルアレイを構成することができる。

[0243]

なお、メモリセルをアレイ状に配置する場合、読み出し時には、所望のメモリセルの情報を読み出さなくてはならない。例えば、メモリセルアレイがNOR型の構成の場合、情報を読み出さないメモリセルのトランジスタ800を非導通状態にすることで、所望のメモリセルの情報のみを読み出すことができる。この場合、ノードFGに与えられた電荷によらずトランジスタ800が「非導通状態」となるような電位、つまり、 V_{th_H} より低い電位を、情報を読み出さないメモリセルと接続される配線3005に与えればよい。または、例えば、メモリセルアレイがNAND型の構成の場合、情報を読み出さないメモリセルのトランジスタ800を導通状態にすることで、所望のメモリセルの情報をのみ読み出すことができる。この場合、ノードFGに与えられた電荷によらずトランジスタ800が「導通状態」となるような電位、つまり、 V_{th_L} より高い電位を、情報を読み出さないメモリセルと接続される配線3005に与えればよい。

[0244]

<記憶装置の構成2>

図13、および図14に示す記憶装置は、トランジスタ800を有さない構成としてもよい。トランジスタ800を有さない場合も、先に述べた記憶装置と同様の動作により情報の書き込みおよび保持動作が可能である。

[0245]

例えば、トランジスタ800を有さない場合における、情報の読み出しについて説明する。トランジスタ700が導通状態になると、浮遊状態である配線3003と容量素子600とが導通し、配線3003と容量素子600の間で電荷が再分配される。その結果、配線3003の電位が変化する。配線3003の電位の変化量は、容量素子600の電極の一方の電位（または容量素子600に蓄積された電荷）によって、異なる値をとる。

[0246]

例えば、容量素子600の電極の一方の電位を V 、容量素子600の容量を C 、配線3003が有する容量成分を C_B 、電荷が再分配される前の配線3003の電位を V_{B0} とすると、電荷が再分配された後の配線3003の電位は、 $(C_B \times V_{B0} + CV) / (C_B + C)$ となる。したがって、メモリセルの状態として、容量素子600の電極の一方の電位が V_1 と V_0 ($V_1 > V_0$) の2つの状態をとるとすると、電位 V_1 を保持している場合の配線3003の電位 $(= (C_B \times V_{B0} + CV_1) / (C_B + C))$ は、電位 V_0 を保持している場合の配線3003の電位 $(= (C_B \times V_{B0} + CV_0) / (C_B + C))$ よりも高くなることがわかる。

[0247]

そして、配線 3 0 0 3 の電位を所定の電位と比較することで、情報を読み出すことができる。

[0248]

本構成とする場合、例えば、メモリセルを駆動させるための駆動回路にシリコンが適用されたトランジスタを用い、トランジスタ 7 0 0 として、酸化物半導体が適用されたトランジスタを駆動回路上に積層して配置する構成とすればよい。

[0249]

以上に示した記憶装置は、酸化物半導体を用いたオフ電流の小さいトランジスタを適用することで、長期にわたって記憶内容を保持することが可能となる。つまり、リフレッシュ動作が不要となるか、またはリフレッシュ動作の頻度を極めて低くすることが可能となるため、消費電力の低い記憶装置を実現することができる。また、電力の供給がない場合（ただし、電位は固定されていることが好ましい）であっても、長期にわたって記憶内容を保持することが可能である。

[0250]

また、該記憶装置は、情報の書き込みに高い電圧が不要であるため、素子の劣化が起こりにくい。例えば、従来の不揮発性メモリのように、フローティングゲートへの電子の注入や、フローティングゲートからの電子の引き抜きを行わないため、絶縁体の劣化といった問題が生じない。即ち、本発明の一態様に係る記憶装置は、従来の不揮発性メモリとは異なり書き換え可能回数に制限はなく、信頼性が飛躍的に向上した記憶装置である。さらに、トランジスタの導通状態、非導通状態によって、情報の書き込みが行われるため、高速な動作が可能となる。

[0251]

さらに、トランジスタ 7 0 0 は、先の実施の形態に記載の通り、多層構造の酸化物を活性層として用いており、大きいオン電流を得ることができる。これにより、さらに情報の書き込み速度を向上させ、高速な動作が可能となる。

[0252]

<記憶装置の構造 1>

本発明の一態様の記憶装置の一例を、図 1 3 に示す。記憶装置は、トランジスタ 9 0 0、トランジスタ 8 0 0、トランジスタ 7 0 0、容量素子 6 0 0 を有する。トランジスタ 7 0 0 はトランジスタ 8 0 0 の上方に設けられ、容量素子 6 0 0 はトランジスタ 8 0 0、およびトランジスタ 7 0 0 の上方に設けられている。

[0253]

トランジスタ 8 0 0 は、基板 8 1 1 上に設けられ、導電体 8 1 6、絶縁体 8 1 4、基板 8 1 1 の一部からなる半導体領域 8 1 2、およびソース領域またはドレイン領域として機能する低抵抗領域 8 1 8 a、および低抵抗領域 8 1 8 b を有する。

[0254]

トランジスタ 8 0 0 は、p チャネル型、あるいは n チャネル型のいずれでもよい。

[0255]

半導体領域 8 1 2 のチャネルが形成される領域、その近傍の領域、ソース領域、またはドレイン領域となる低抵抗領域 8 1 8 a、および低抵抗領域 8 1 8 b などにおいて、シリコン系半導体などの半導体を含むことが好ましく、単結晶シリコンを含むことが好ましい。または、Ge（ゲルマニウム）、SiGe（シリコンゲルマニウム）、GaAs（ガリウムヒ素）、GaAlAs（ガリウムアルミニウ

ムヒ素)などを有する材料で形成してもよい。結晶格子に応力を与え、格子間隔を変化させることで有効質量を制御したシリコンを用いた構成としてもよい。またはGaAsとGaAlAs等を用いることで、トランジスタ800をHEMT(High Electron Mobility Transistor)としてもよい。

[0256]

低抵抗領域818a、および低抵抗領域818bは、半導体領域812に適用される半導体材料に加え、ヒ素、リンなどのn型の導電性を付与する元素、またはホウ素などのp型の導電性を付与する元素を含む。

[0257]

ゲート電極として機能する導電体816は、ヒ素、リンなどのn型の導電性を付与する元素、もしくはホウ素などのp型の導電性を付与する元素を含むシリコンなどの半導体材料、金属材料、合金材料、または金属酸化物材料などの導電性材料を用いることができる。

[0258]

なお、導電体の材料により、仕事関数を定めることで、しきい値電圧を調整することができる。具体的には、導電体に窒化チタンや窒化タンタルなどの材料を用いることが好ましい。さらに導電性と埋め込み性を両立するために導電体にタングステンやアルミニウムなどの金属材料を積層として用いることが好ましく、特にタングステンを用いることが耐熱性の点で好ましい。

[0259]

なお、図1に示すトランジスタ800は一例であり、その構造に限定されず、回路構成や駆動方法に応じて適切なトランジスタを用いればよい。また、<記憶装置の構成2>に示す構成とする場合、トランジスタ800を設けなくともよい。

[0260]

トランジスタ800を覆って、絶縁体820、絶縁体822、絶縁体824、および絶縁体826が順に積層して設けられている。

[0261]

絶縁体820、絶縁体822、絶縁体824、および絶縁体826として、例えば、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化酸化シリコン、窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化窒化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、窒化アルミニウムなどを用いればよい。

[0262]

絶縁体822は、その下方に設けられるトランジスタ800などによって生じる段差を平坦化する平坦化膜として機能を有していてもよい。例えば、絶縁体822の上面は、平坦性を高めるためにCMP法等を用いた平坦化处理により平坦化されていてもよい。

[0263]

また、絶縁体824には、基板811、またはトランジスタ800などから、トランジスタ700及びトランジスタ900が設けられる領域に、水素や不純物が拡散しないようなバリア性を有する膜を用いることが好ましい。ここで、バリア性とは、水素、および水に代表される不純物の拡散を抑制する機能とする。例えば、350℃または400℃の雰囲気下において、バリア性を有する膜中の一時間当たりの水素の拡散距離が50nm以下であればよい。好ましくは、350℃または400℃の雰囲気下において、バリア性を有する膜中における一時間当たりの水素の拡散距離が30nm以下、

さらに好ましくは20nm以下であるといよい。

[0264]

水素に対するバリア性を有する膜の一例として、例えば、CVD法で形成した窒化シリコンを用いることができる。ここで、トランジスタ700等の酸化物半導体を有する半導体素子に、水素が拡散することで、該半導体素子の特性が低下する場合がある。従って、トランジスタ700及びトランジスタ900と、トランジスタ800との間に、水素の拡散を抑制する膜を用いることが好ましい。水素の拡散を抑制する膜とは、具体的には、水素の脱離量が少ない膜とする。

[0265]

水素の脱離量は、例えば、TDSなどを用いて分析することができる。例えば、絶縁体824の水素の脱離量は、TDS分析において、50℃から500℃の範囲において、水素分子に換算した脱離量が、絶縁体824の面積当たりに換算して、 $2 \times 10^{15} \text{ molecules/cm}^2$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{15} \text{ molecules/cm}^2$ 以下、より好ましくは $5 \times 10^{14} \text{ molecules/cm}^2$ 以下であればよい。

[0266]

なお、絶縁体826は、絶縁体824よりも誘電率が低いことが好ましい。例えば、絶縁体826の比誘電率は4未満が好ましく、3未満がより好ましい。また例えば、絶縁体824の比誘電率は、絶縁体826の比誘電率の0.7倍以下が好ましく、0.6倍以下がより好ましい。誘電率が低い材料を層間膜とすることで、配線間に生じる寄生容量を低減することができる。

[0267]

また、絶縁体820、絶縁体822、絶縁体824、および絶縁体826には容量素子600、またはトランジスタ700と電氣的に接続する導電体828、および導電体830等が埋め込まれている。なお、導電体828、および導電体830はプラグ、または配線として機能を有する。また、後述するが、プラグまたは配線として機能を有する導電体は、複数の構造をまとめて同一の符号を付与する場合がある。また、本明細書等において、配線と、配線と電氣的に接続するプラグとが一体物であってもよい。すなわち、導電体の一部が配線として機能する場合、および導電体の一部がプラグとして機能する場合もある。

[0268]

各プラグ、および配線（導電体828、および導電体830等）の材料としては、金属材料、合金材料、金属窒化物材料、または金属酸化物材料などの導電性材料を、単層または積層して用いることができる。耐熱性と導電性を両立するタングステンやモリブデンなどの高融点材料を用いることが好ましく、タングステンを用いることが好ましい。または、アルミニウムや銅などの低抵抗導電性材料で形成することが好ましい。低抵抗導電性材料を用いることで配線抵抗を低くすることができる。

[0269]

絶縁体826、および導電体830上に、配線層を設けてもよい。例えば、図13において、絶縁体850、絶縁体852、及び絶縁体854が順に積層して設けられている。また、絶縁体850、絶縁体852、及び絶縁体854には、導電体856が形成されている。導電体856は、プラグ、または配線として機能を有する。なお導電体856は、導電体828、および導電体830と同様の材料を用いて設けることができる。

[0270]

なお、例えば、絶縁体 850 は、絶縁体 824 と同様に、水素に対するバリア性を有する絶縁体を用いることが好ましい。また、導電体 856 は、水素に対するバリア性を有する導電体を含むことが好ましい。特に、水素に対するバリア性を有する絶縁体 850 が有する開口部に、水素に対するバリア性を有する導電体が形成される。当該構成により、トランジスタ 800 とトランジスタ 700 及びトランジスタ 900 とは、バリア層により分離することができ、トランジスタ 800 からトランジスタ 700 及びトランジスタ 900 への水素の拡散を抑制することができる。

[0271]

なお、水素に対するバリア性を有する導電体としては、例えば、窒化タンタル等を用いるとよい。また、窒化タンタルと導電性が高いタングステンを積層することで、配線としての導電性を保持したまま、トランジスタ 800 からの水素の拡散を抑制することができる。この場合、水素に対するバリア性を有する窒化タンタル層が、水素に対するバリア性を有する絶縁体 850 と接する構造であることが好ましい。

[0272]

絶縁体 854 上には、絶縁体 858、絶縁体 710、絶縁体 712、絶縁体 714、および絶縁体 716 が、順に積層して設けられている。絶縁体 858、絶縁体 710、絶縁体 712、絶縁体 714、および絶縁体 716 のいずれかは、酸素や水素に対してバリア性のある物質を用いることが好ましい。

[0273]

例えば、絶縁体 858、絶縁体 712、および絶縁体 714 には、例えば、基板 811、またはトランジスタ 800 を設ける領域などから、トランジスタ 700 及びトランジスタ 900 を設ける領域に、水素や不純物が拡散しないようなバリア性を有する膜を用いることが好ましい。従って、絶縁体 824 と同様の材料を用いることができる。

[0274]

また、水素に対するバリア性を有する膜の一例として、CVD法で形成した窒化シリコンを用いることができる。ここで、トランジスタ 700 等の酸化物半導体を有する半導体素子に、水素が拡散することで、該半導体素子の特性が低下する場合がある。従って、トランジスタ 700 及びトランジスタ 900 と、トランジスタ 800 との間に、水素の拡散を抑制する膜を用いることが好ましい。水素の拡散を抑制する膜とは、具体的には、水素の脱離量が少ない膜とする。

[0275]

また、水素に対するバリア性を有する膜として、例えば、絶縁体 712、および絶縁体 714 には、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、酸化タンタルなどの金属酸化物を用いることが好ましい。

[0276]

特に、酸化アルミニウムは、酸素、およびトランジスタの電気特性の変動要因となる水素、水分などの不純物、の両方に対して膜を透過させない遮断効果が高い。したがって、酸化アルミニウムは、トランジスタの作製工程中および作製後において、水素、水分などの不純物のトランジスタ 700 及びトランジスタ 900 への混入を防止することができる。また、トランジスタ 700 を構成する酸化物からの酸素の放出を抑制することができる。そのため、トランジスタ 700 及びトランジスタ 900 に対する保護膜として用いることに適している。

[0277]

また、例えば、絶縁体 710、および絶縁体 716 には、絶縁体 820 と同様の材料を用いることができる。また、当該絶縁膜に、比較的誘電率が低い材料を層間膜とすることで、配線間に生じる寄生容量を低減することができる。例えば、絶縁体 716 として、酸化シリコン膜や酸化窒化シリコン膜などを用いることができる。

[0278]

また、絶縁体 858、絶縁体 710、絶縁体 712、絶縁体 714、および絶縁体 716 には、導電体 718、及びトランジスタ 700 及びトランジスタ 900 を構成する導電体（導電体 705、導電体 405、導電体 403、および導電体 407）等が埋め込まれている。なお、導電体 718 は、容量素子 600、またはトランジスタ 800 と電氣的に接続するプラグ、または配線としての機能を有する。導電体 718 は、導電体 828、および導電体 830 と同様の材料を用いて設けることができる。

[0279]

特に、絶縁体 858、絶縁体 712、および絶縁体 714 と接する領域の導電体 718 は、酸素、水素、および水に対するバリア性を有する導電体であることが好ましい。当該構成により、トランジスタ 800 とトランジスタ 700 とは、酸素、水素、および水に対するバリア性を有する層で、完全により分離することができ、トランジスタ 800 からトランジスタ 700 及びトランジスタ 900 への水素の拡散を抑制することができる。

[0280]

絶縁体 716 の上方には、トランジスタ 700 及びトランジスタ 900 が設けられている。トランジスタ 700 及びトランジスタ 900 の上方には、絶縁体 782 および絶縁体 784 が設けられている。絶縁体 782 および絶縁体 784 は、絶縁体 214 および絶縁体 212 と同様の材料を用いることができる。これにより、絶縁体 782 および絶縁体 784 は、トランジスタ 700 及びトランジスタ 900 に対する保護膜として機能する。さらに、図 13 に示すように、絶縁体 716、720、722、724、772、774、780 に開口を形成して絶縁体 714 と絶縁体 782 が接する構成とすることが好ましい。このような構成とすることにより、絶縁体 714 と絶縁体 782 でトランジスタ 700、トランジスタ 900 を封止することができ、水素または水などの不純物の浸入を防ぐことができる。

[0281]

絶縁体 784 の上には、絶縁体 610 が設けられている。絶縁体 610 は、絶縁体 820 と同様の材料を用いることができる。また、当該絶縁膜に、比較的誘電率が低い材料を層間膜とすることで、配線間に生じる寄生容量を低減することができる。例えば、絶縁体 610 として、酸化シリコン膜や酸化窒化シリコン膜などを用いることができる。

[0282]

また、絶縁体 720、絶縁体 722、絶縁体 724、絶縁体 772、絶縁体 774、および絶縁体 610 には、導電体 785 等が埋め込まれている。

[0283]

導電体 785 は、容量素子 600、トランジスタ 700、またはトランジスタ 800 と電氣的に接続するプラグ、または配線としての機能を有する。導電体 785 は、導電体 828、および導電体 830 と同様の材料を用いて設けることができる。

[0284]

例えば、導電体785を積層構造として設ける場合、酸化しにくい（耐酸化性が高い）導電体を含むことが好ましい。特に、過剰酸素領域を有する絶縁体724と接する領域に、耐酸化性が高い導電体を設けることが好ましい。当該構成により、絶縁体724から過剰な酸素を、導電体785が吸収することを抑制することができる。また、導電体785は、水素に対するバリア性を有する導電体を含むことが好ましい。特に、過剰酸素領域を有する絶縁体724と接する領域に、水素などの不純物に対するバリア性を有する導電体を設けることで、導電体785中の不純物、および導電体785の一部の拡散や、外部からの不純物の拡散経路となることを抑制することができる。

[0285]

また、絶縁体610、および導電体785上に、導電体787、および容量素子600などを設ける。なお、容量素子600は、導電体612と、絶縁体630、絶縁体632、絶縁体634、および導電体616とを有する。導電体612、および導電体616は、容量素子600の電極として機能を有し、絶縁体630、絶縁体632、および絶縁体634は容量素子600の誘電体として機能を有する。

[0286]

導電体787は、容量素子600、トランジスタ700、またはトランジスタ800と電氣的に接続するプラグ、または配線として機能を有する。また、導電体612は、容量素子600の電極の一方として機能を有する。なお、導電体787、および導電体612は、同時に形成することができる。

[0287]

導電体787、および導電体612には、モリブデン、チタン、タンタル、タングステン、アルミニウム、銅、クロム、ネオジム、スカンジウムから選ばれた元素を含む金属膜、または上述した元素を成分とする金属窒化物膜（窒化タンタル、窒化チタン膜、窒化モリブデン膜、窒化タングステン膜）等を用いることができる。又は、インジウム錫酸化物、酸化タングステンを含むインジウム酸化物、酸化タングステンを含むインジウム亜鉛酸化物、酸化チタンを含むインジウム酸化物、酸化チタンを含むインジウム錫酸化物、インジウム亜鉛酸化物、酸化ケイ素を添加したインジウム錫酸化物などの導電性材料を適用することもできる。

[0288]

絶縁体630、絶縁体632および絶縁体634は、例えば、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化酸化シリコン、窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化窒化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、窒化アルミニウム、酸化ハフニウム、酸化窒化ハフニウム、窒化酸化ハフニウム、窒化ハフニウムなどを用いればよく、積層または単層で設けることができる。

[0289]

例えば、絶縁体632に、酸化アルミニウムなどの高誘電率（high-k）材料を用いた場合、容量素子600は、単位面積当たりの容量を大きくすることができる。また、絶縁体630、および絶縁体634には、酸化窒化シリコンなどの絶縁耐力が大きい材料を用いるとよい。絶縁耐力が大きい絶縁体により、高誘電体を挟むことで、容量素子600の静電破壊を抑制し、かつ容量の大きな容量素子とすることができる。

[0290]

また、導電体616は、絶縁体630、絶縁体632および絶縁体634を介して、導電体612

の側面、および上面を覆うように設ける。当該構成により、導電体 6 1 2 の側面は、絶縁体を介して、導電体 6 1 6 に包まれる。当該構成とすることで、導電体 6 1 2 の側面でも容量が形成されるため、容量素子の投影面積当たりの容量を増加させることができる。従って、記憶装置の小面積化、高集積化、および微細化が可能となる。

[0291]

なお、導電体 6 1 6 は、金属材料、合金材料、または金属酸化物材料などの導電性材料を用いることができる。耐熱性と導電性を両立するタングステンやモリブデンなどの高融点材料を用いることが好ましく、特にタングステンを用いることが好ましい。また、導電体などの他の構造と同時に形成する場合は、低抵抗金属材料である Cu（銅）や Al（アルミニウム）等を用いればよい。

[0292]

導電体 6 1 6、および絶縁体 6 3 4 上には、絶縁体 6 5 0 が設けられている。絶縁体 6 5 0 は、絶縁体 8 2 0 と同様の材料を用いて設けることができる。また、絶縁体 6 5 0 は、その下方の凹凸形状を被覆する平坦化膜として機能してもよい。

[0293]

以上が構成例についての説明である。本構成を用いることで、酸化物半導体を有するトランジスタを用いた記憶装置において、電気特性の変動を抑制すると共に、信頼性を向上させることができる。または、オン電流が大きい酸化物半導体を有するトランジスタを提供することができる。または、オフ電流が小さい酸化物半導体を有するトランジスタを提供することができる。または、消費電力が低減された記憶装置を提供することができる。

[0294]

<変形例>

記憶装置の変形例の一例を、図 1 4 に示す。図 1 4 は、図 1 3 と、トランジスタ 8 0 0 の構成、および絶縁体 7 7 2、および絶縁体 7 7 4 の形状などが異なる。

[0295]

図 1 4 に示すトランジスタ 8 0 0 はチャンネルが形成される半導体領域 8 1 2（基板 8 1 1 の一部）が凸形状を有する。また、半導体領域 8 1 2 の側面および上面を、絶縁体 8 1 4 を介して、導電体 8 1 6 が覆うように設けられている。なお、導電体 8 1 6 は仕事関数を調整する材料を用いてもよい。このようなトランジスタ 8 0 0 は半導体基板の凸部を利用していることから F I N 型トランジスタとも呼ばれる。なお、凸部の上部に接して、凸部を形成するためのマスクとして機能する絶縁体を有してもよい。また、ここでは半導体基板の一部を加工して凸部を形成する場合を示したが、S O I 基板を加工して凸形状を有する半導体膜を形成してもよい。

[0296]

当該構成のトランジスタ 8 0 0 と、トランジスタ 7 0 0 を組み合わせて用いることで、小面積化、高集積化、微細化が可能となる。

[0297]

本構成を用いることで、酸化物半導体を有するトランジスタを用いた記憶装置において、電気特性の変動を抑制すると共に、信頼性を向上させることができる。または、オン電流が大きい酸化物半導体を有するトランジスタを提供することができる。または、オフ電流が小さい酸化物半導体を有するトランジスタを提供することができる。または、消費電力が低減された記憶装置を提供することがで

きる。

[0298]

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。

[符号の説明]

[0299]

001 層
002 層
11a スパッタリングターゲット
11b スパッタリングターゲット
12 スパッタリングターゲット
35 金属酸化物
41 成膜室
50a バッキングプレート
50b バッキングプレート
50c バッキングプレート
52a ターゲットホルダ
52b ターゲットホルダ
52c ターゲットホルダ
54a マグネットユニット
54a N マグネット
54a S マグネット
54b マグネットユニット
54b N マグネット
54b S マグネット
54c マグネットユニット
54c N マグネット
54c S マグネット
56a マグネットホルダ
56b マグネットホルダ
56c マグネットホルダ
60 基板
62 基板ホルダ
66 シャッタ
66a シャッタ
66b シャッタ
66c シャッタ
67 切欠き部
67a 開口部
67b 開口部

6 7 c 切欠き部
1 0 0 a 部分
1 0 0 b 部分
2 1 2 絶縁体
2 1 4 絶縁体
3 0 1 絶縁体
3 0 2 絶縁体
3 0 3 絶縁体
3 1 0 導電体
3 1 0 a 導電体
3 1 0 b 導電体
3 1 0 c 導電体
4 0 0 基板
4 0 1 a 絶縁体
4 0 1 b 絶縁体
4 0 2 絶縁体
4 0 3 導電体
4 0 4 導電体
4 0 4 a 導電体
4 0 5 導電体
4 0 6 a 酸化物
4 0 6 a 1 酸化物
4 0 6 b 酸化物
4 0 6 b 1 酸化物
4 0 6 b 1 n 酸化物
4 0 6 b 1 w 酸化物
4 0 6 b n 酸化物
4 0 6 b n - n 酸化物
4 0 6 b n __ n 酸化物
4 0 6 b n __ 1 酸化物
4 0 6 b n __ 2 酸化物
4 0 6 b n __ 3 酸化物
4 0 6 b w 酸化物
4 0 6 b w __ 1 酸化物
4 0 6 b w __ 2 酸化物
4 0 6 b w __ 3 酸化物
4 0 6 c 酸化物
4 0 6 d 酸化物
4 0 7 導電体

4 0 8 a 絶縁体
4 0 8 b 絶縁体
4 1 0 絶縁体
4 1 2 絶縁体
4 1 2 a 絶縁体
4 1 6 a 導電体
4 1 6 a 1 導電体
4 1 6 a 2 導電体
4 1 7 a 1 バリア膜
4 1 7 a 2 バリア膜
6 0 0 容量素子
6 1 0 絶縁体
6 1 2 導電体
6 1 6 導電体
6 3 0 絶縁体
6 3 2 絶縁体
6 3 4 絶縁体
6 5 0 絶縁体
7 0 0 トランジスタ
7 0 5 導電体
7 1 0 絶縁体
7 1 2 絶縁体
7 1 4 絶縁体
7 1 6 絶縁体
7 1 8 導電体
7 2 0 絶縁体
7 2 2 絶縁体
7 2 4 絶縁体
7 7 2 絶縁体
7 7 4 絶縁体
7 8 0 絶縁体
7 8 2 絶縁体
7 8 4 絶縁体
7 8 5 導電体
7 8 7 導電体
8 0 0 トランジスタ
8 1 1 基板
8 1 2 半導体領域
8 1 4 絶縁体

8 1 6	導電体
8 1 8 a	低抵抗領域
8 1 8 b	低抵抗領域
8 2 0	絶縁体
8 2 2	絶縁体
8 2 4	絶縁体
8 2 6	絶縁体
8 2 8	導電体
8 3 0	導電体
8 5 0	絶縁体
8 5 2	絶縁体
8 5 4	絶縁体
8 5 6	導電体
8 5 8	絶縁体
9 0 0	トランジスタ
3 0 0 1	配線
3 0 0 2	配線
3 0 0 3	配線
3 0 0 4	配線
3 0 0 5	配線
3 0 0 6	配線
3 0 0 7	配線
3 0 0 8	配線
3 0 0 9	配線
3 0 1 0	配線

請求の範囲

[請求項1]

第1のスパッタリングターゲットと、第2のスパッタリングターゲットと、シャッタと、基板ホルダと、を有し、

前記第1のスパッタリングターゲットは、導電性材料を含み、

前記第2のスパッタリングターゲットは、絶縁性材料を含み、

前記シャッタは、前記第1のスパッタリングターゲット及び前記第2のスパッタリングターゲットと、前記基板ホルダの間に位置し、

前記シャッタは、切欠き部が設けられ、

前記基板ホルダは、前記シャッタの前記切欠き部を介して、前記第1のスパッタリングターゲットまたは前記第2のスパッタリングターゲットと対向される、

ことを特徴とするスパッタリング装置。

[請求項2]

第1のスパッタリングターゲットと、第2のスパッタリングターゲットと、シャッタと、基板ホルダと、を有し、

前記第1のスパッタリングターゲットは、導電性材料を含み、

前記第2のスパッタリングターゲットは、絶縁性材料を含み、

前記シャッタは、前記第1のスパッタリングターゲット及び前記第2のスパッタリングターゲットと、前記基板ホルダの間に位置し、

前記シャッタは、開口部が設けられ、

前記基板ホルダは、前記シャッタの前記開口部を介して、前記第1のスパッタリングターゲットまたは前記第2のスパッタリングターゲットと対向される、

ことを特徴とするスパッタリング装置。

[請求項3]

請求項1または請求項2のいずれかにおいて、

前記導電性材料は、インジウムの酸化物および亜鉛の酸化物のいずれか一方または双方を有する、ことを特徴とするスパッタリング装置。

[請求項4]

請求項1または請求項2のいずれかにおいて、

前記絶縁性材料は、元素M（元素Mは、Ga、Al、Si、B、Y、Ti、Fe、Ni、Ge、Zr、Mo、La、Ce、Nd、Hf、Ta、W、Mg、V、Be、またはCuのいずれか一つ、または複数）の酸化物を有する、ことを特徴とするスパッタリング装置。

[請求項5]

請求項1または請求項2のいずれかにおいて、

前記シャッタは、前記シャッタに垂直な軸を回転軸として、回転させることができる、ことを特徴とするスパッタリング装置。

[請求項6]

請求項1または請求項2のいずれかにおいて、

前記第1のスパッタリングターゲット及び第2のスパッタリングターゲットは、前記シャッタに垂直な軸を回転軸として、回転させることができる、ことを特徴とするスパッタリング装置。

[請求項7]

第1のスパッタリングターゲットと、第2のスパッタリングターゲットと、第3のスパッタリングターゲットと、シャッタと、基板ホルダと、を有し、

前記第1のスパッタリングターゲットは、インジウム酸化物を含み、

前記第2のスパッタリングターゲットは、亜鉛酸化物を含み、

前記第3のスパッタリングターゲットは、元素M（元素Mは、Ga、Al、Si、B、Y、Ti、Fe、Ni、Ge、Zr、Mo、La、Ce、Nd、Hf、Ta、W、Mg、V、Be、またはCuのいずれか一つ、または複数）の酸化物を含み、

前記シャッタは、前記第1のスパッタリングターゲット、前記第2のスパッタリングターゲット及び前記第3のスパッタリングターゲットと、前記基板ホルダの間に位置し、

前記シャッタは、切欠き部が設けられ、

前記基板ホルダは、前記シャッタの前記切欠き部を介して、前記第1のスパッタリングターゲット、または前記第2のスパッタリングターゲットまたは前記第3のスパッタリングターゲットと対向される、

ことを特徴とするスパッタリング装置。

[請求項8]

第1のスパッタリングターゲットと、第2のスパッタリングターゲットと、第3のターゲットと、シャッタと、基板ホルダと、を有し、

前記第1のスパッタリングターゲットは、インジウム酸化物を含み、

前記第2のスパッタリングターゲットは、亜鉛酸化物を含み、

前記第3のスパッタリングターゲットは、元素M（元素Mは、Ga、Al、Si、B、Y、Ti、Fe、Ni、Ge、Zr、Mo、La、Ce、Nd、Hf、Ta、W、Mg、V、Be、またはCuのいずれか一つ、または複数）の酸化物を含み、

前記シャッタは、前記第1のスパッタリングターゲット、前記第2のスパッタリングターゲット及び前記第3のスパッタリングターゲットと、前記基板ホルダの間に位置し、

前記シャッタは、開口部が設けられ、

前記基板ホルダは、前記シャッタの前記開口部を介して、前記第1のスパッタリングターゲット、または前記第2のスパッタリングターゲットまたは前記第3のスパッタリングターゲットと対向される、

ことを特徴とするスパッタリング装置。

[請求項9]

請求項7または請求項8のいずれかにおいて、

前記シャッタは、前記シャッタに垂直な軸を回転軸として、回転させることができる、ことを特徴とするスパッタリング装置。

[請求項10]

請求項7または請求項8のいずれかにおいて、

前記第1のスパッタリングターゲット、前記第2のスパッタリングターゲット及び前記第3のスパッタリングターゲットは、前記シャッタに垂直な軸を回転軸として、回転させることができる、ことを特徴とするスパッタリング装置。

[請求項11]

請求項1、請求項2、請求項7、または請求項8のいずれか一において、

前記基板ホルダは、前記シャッタに垂直な軸を回転軸として、回転させることができる、ことを特徴とするスパッタリング装置。

[請求項 1 2]

ゲート電極と、第 1 の導電体と、第 2 の導電体と、ゲート絶縁体と、第 1 の酸化物と、第 2 の酸化物と、第 3 の酸化物を有し、

前記ゲート絶縁体は、前記ゲート電極と前記第 1 の酸化物との間に位置し、

前記ゲート電極は、前記ゲート絶縁体および前記第 1 の酸化物を介して、前記第 2 の酸化物と重なる領域を有し、

前記第 1 の導電体および前記第 2 の導電体は、前記第 2 の酸化物の上面および側面と接する領域を有し、

前記第 2 の酸化物は、前記第 3 の酸化物の上面と接する領域を有し、

前記第 2 の酸化物は、膜厚方向に第 1 のバンドギャップを有する酸化物と、前記第 1 のバンドギャップを有する酸化物に接する第 2 のバンドギャップを有する酸化物と、が交互に重なる積層構造を有し、

前記第 2 の酸化物は、前記第 1 のバンドギャップを有する酸化物を、2 層以上を有し、

前記第 1 のバンドギャップは、前記第 2 のバンドギャップより小さいことを特徴とするトランジスタ。

[請求項 1 3]

請求項 1 2 において、

前記第 2 の酸化物は、チャネル形成領域を有し、

前記チャネル形成領域のチャネル幅方向において、前記第 1 の酸化物は、前記第 2 の酸化物を覆う様に配置されることを特徴とするトランジスタ。

[請求項 1 4]

請求項 1 2 または請求項 1 3 のいずれかにおいて、

前記第 2 の酸化物は、前記第 1 のバンドギャップを有する酸化物を、3 層以上 10 層以下を有することを特徴とするトランジスタ。

[請求項 1 5]

請求項 1 2 または請求項 1 3 のいずれかにおいて、

前記第 1 の酸化物のバンドギャップおよび前記第 3 の酸化物のバンドギャップは、前記第 1 のバンドギャップより大きいことを特徴とするトランジスタ。

[請求項 1 6]

請求項 1 2 または請求項 1 3 のいずれかにおいて、

前記第 1 のバンドギャップを有する酸化物の膜厚は、0.5 nm 以上 2.0 nm 以下の領域を有することを特徴とするトランジスタ。

[請求項 1 7]

請求項 1 2 または請求項 1 3 のいずれかにおいて、

前記第 2 のバンドギャップを有する酸化物の膜厚は、0.1 nm 以上 3.0 nm 以下の領域を有することを特徴とするトランジスタ。

[請求項 1 8]

請求項 1 2 または請求項 1 3 のいずれかにおいて、

前記第 1 の導電体の端部と前記第 2 の導電体の端部との互いに向かい合う距離は、10 nm 以上 3

0 0 n m以下の領域を有することを特徴とするトランジスタ。

[請求項 1 9]

請求項 1、請求項 2、請求項 7、請求項 8、請求項 1 2、または請求項 1 3 のいずれかーにおいて、前記ゲート電極の幅は、1 0 n m以上 3 0 0 n m以下の領域を有することを特徴とするトランジスタ。

[請求項 2 0]

請求項 1 2 または請求項 1 3 のいずれかにおいて、前記第 1 のバンドギャップを有する酸化物のキャリア密度は、 $6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とするトランジスタ。

[請求項 2 1]

請求項 1 2 または請求項 1 3 のいずれかにおいて、前記第 1 のバンドギャップを有する酸化物は、縮退していることを特徴とするトランジスタ。

[請求項 2 2]

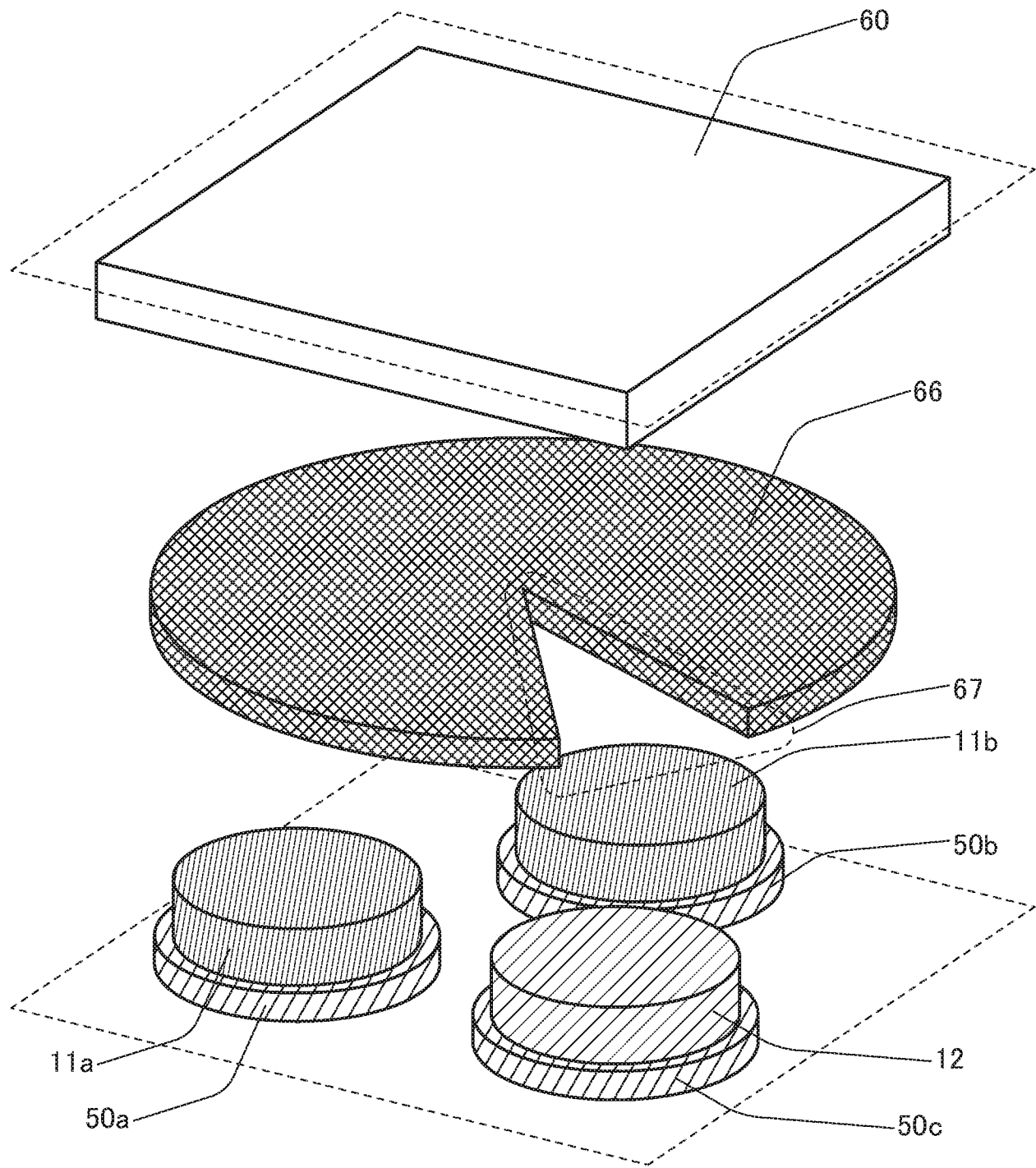
請求項 1 2 または請求項 1 3 のいずれかにおいて、前記第 1 のバンドギャップを有する酸化物は、インジウム、亜鉛または窒素のいずれかー、または複数を含むこと特徴とするトランジスタ。

[請求項 2 3]

請求項 1 2 または請求項 1 3 のいずれかにおいて、前記第 2 のバンドギャップを有する酸化物は、インジウム、ホウ素、ガリウムまたは亜鉛のいずれかー、または複数を含むこと特徴とするトランジスタ。

[図 1]

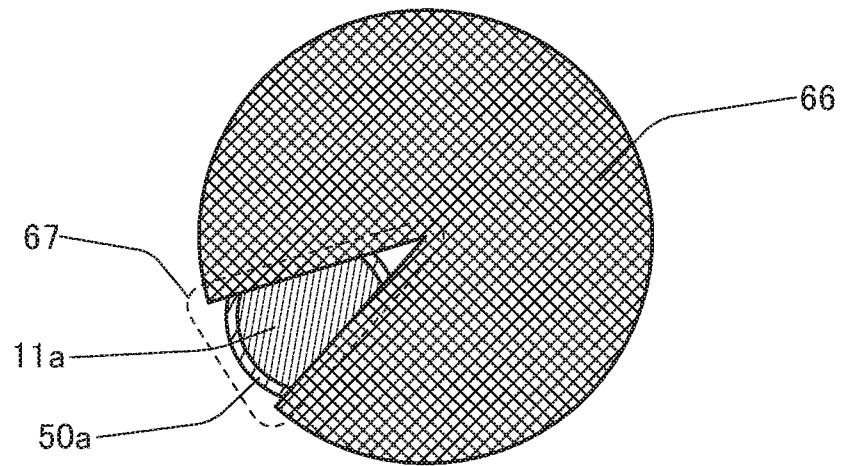
1/15



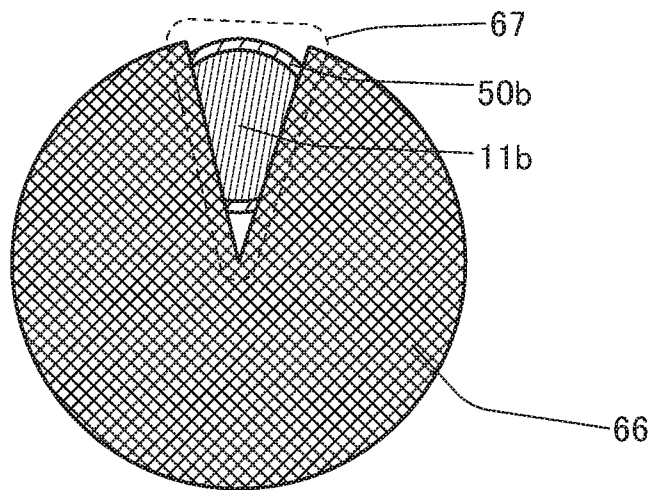
[図2]

2/15

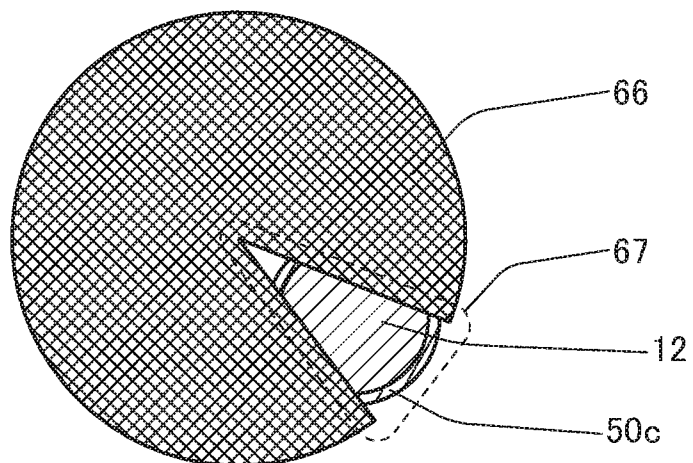
(A)



(B)



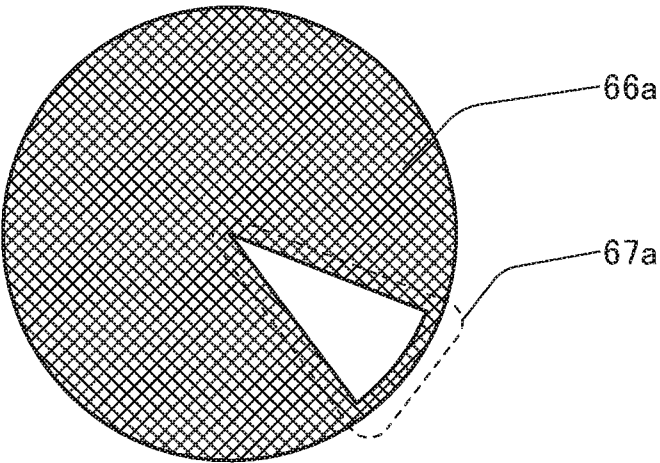
(C)



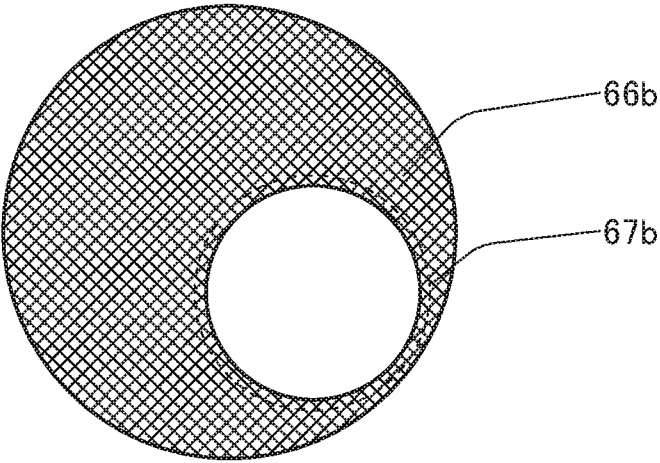
[図3]

3/15

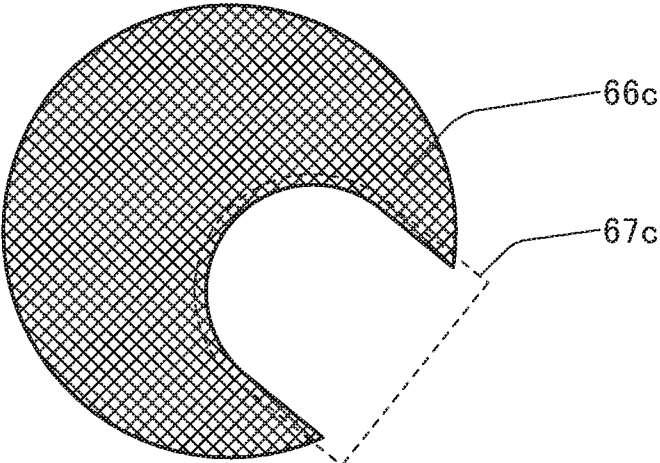
(A)



(B)



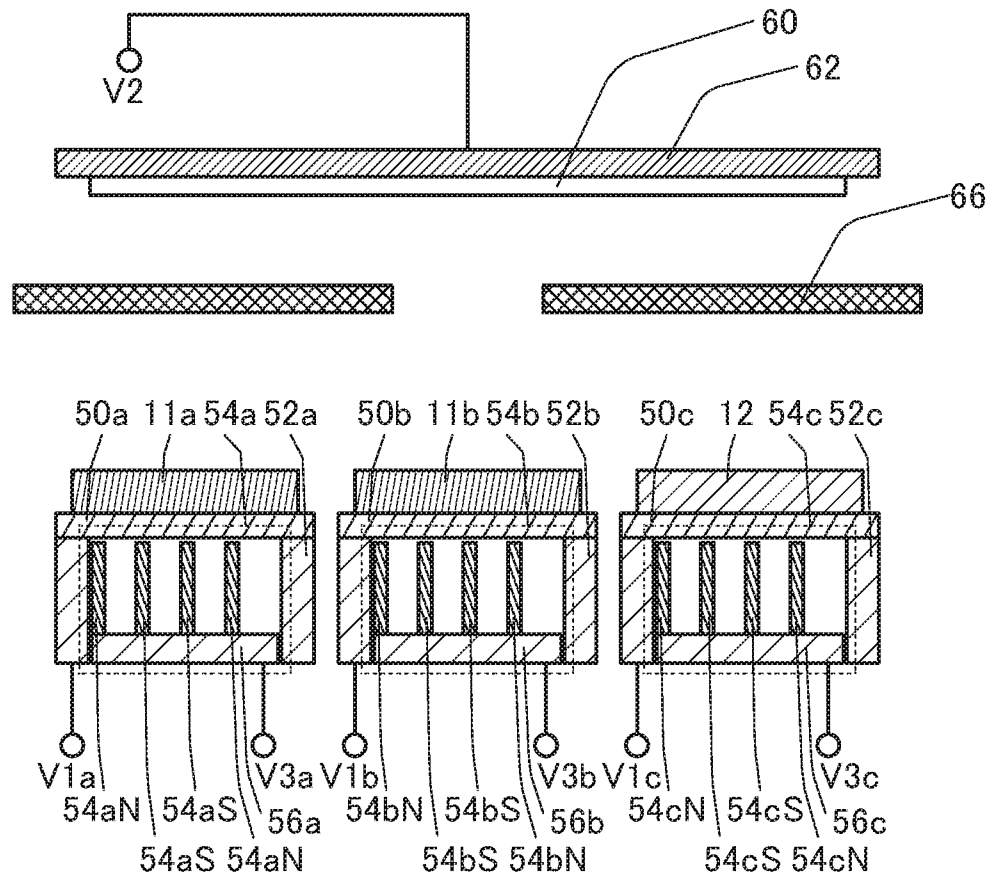
(C)



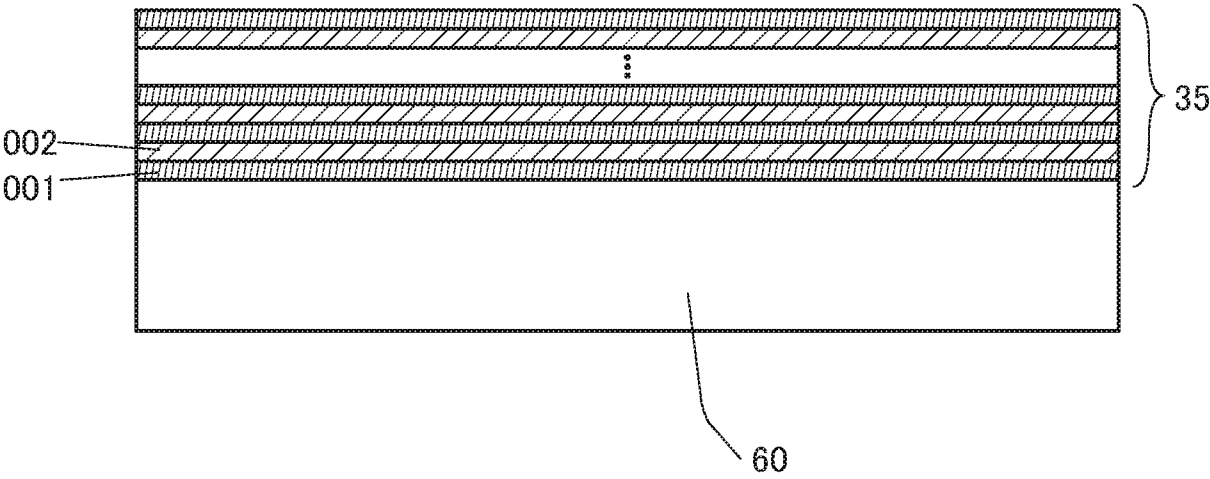
[図4]

4/15

41

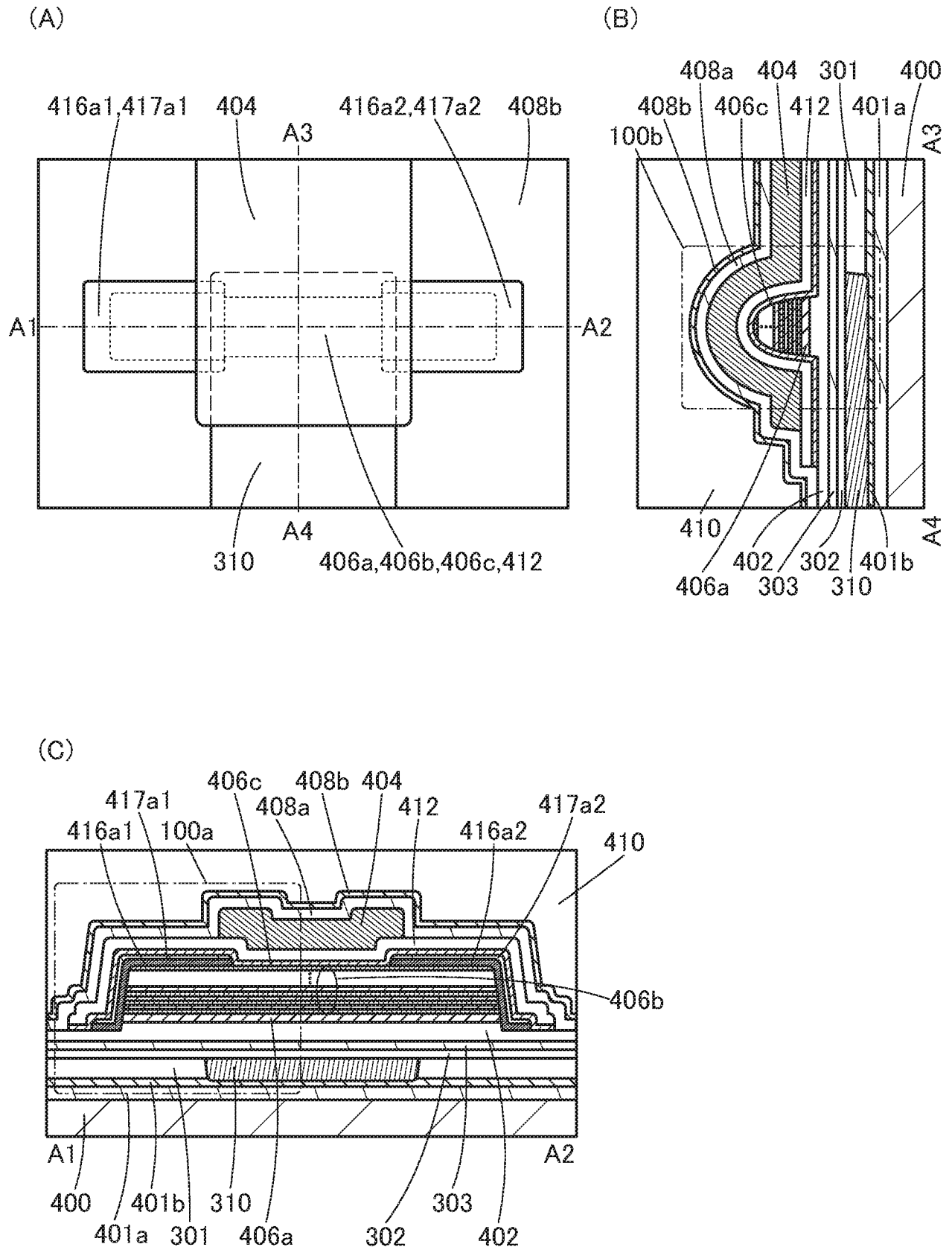


[図5]



[図6]

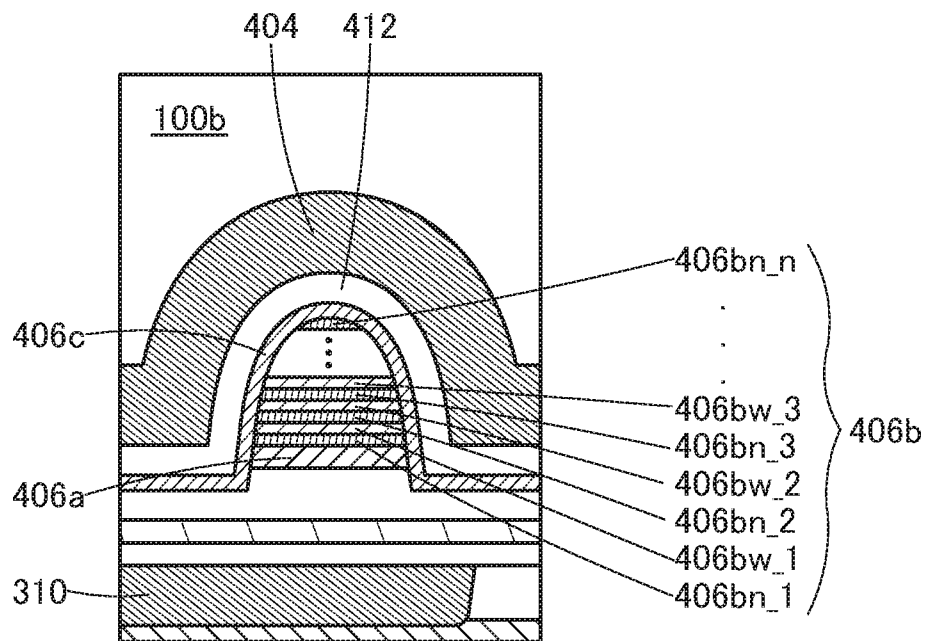
6/15



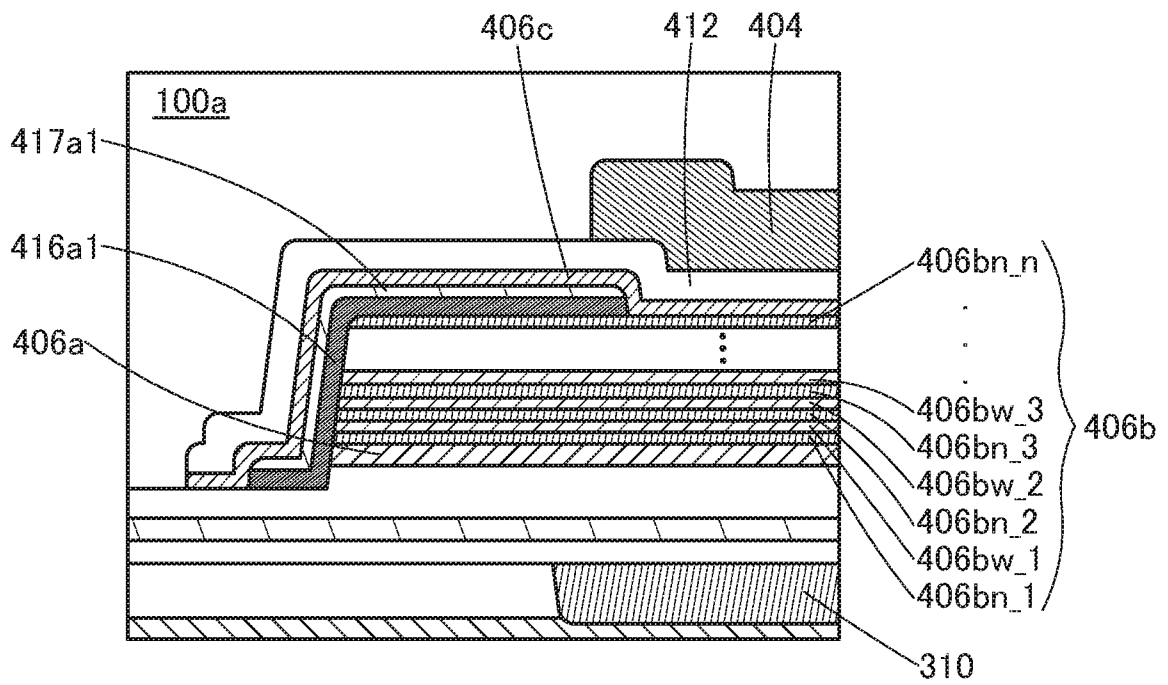
[図 7]

7/15

(A)



(B)

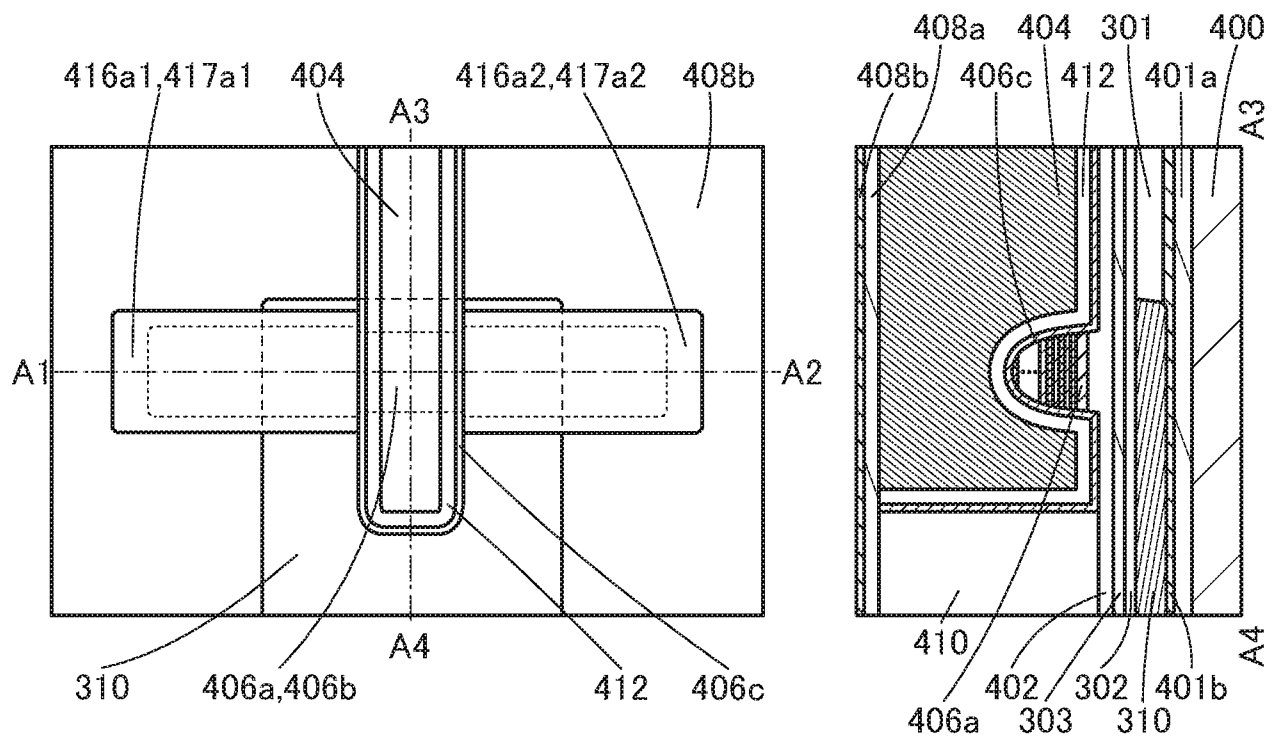


[図 8]

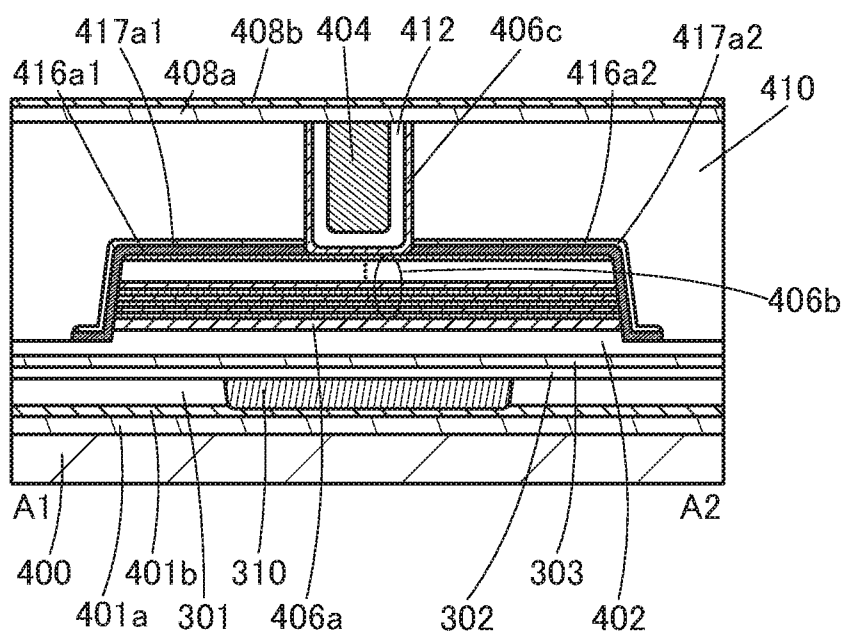
8/15

(A)

(B)

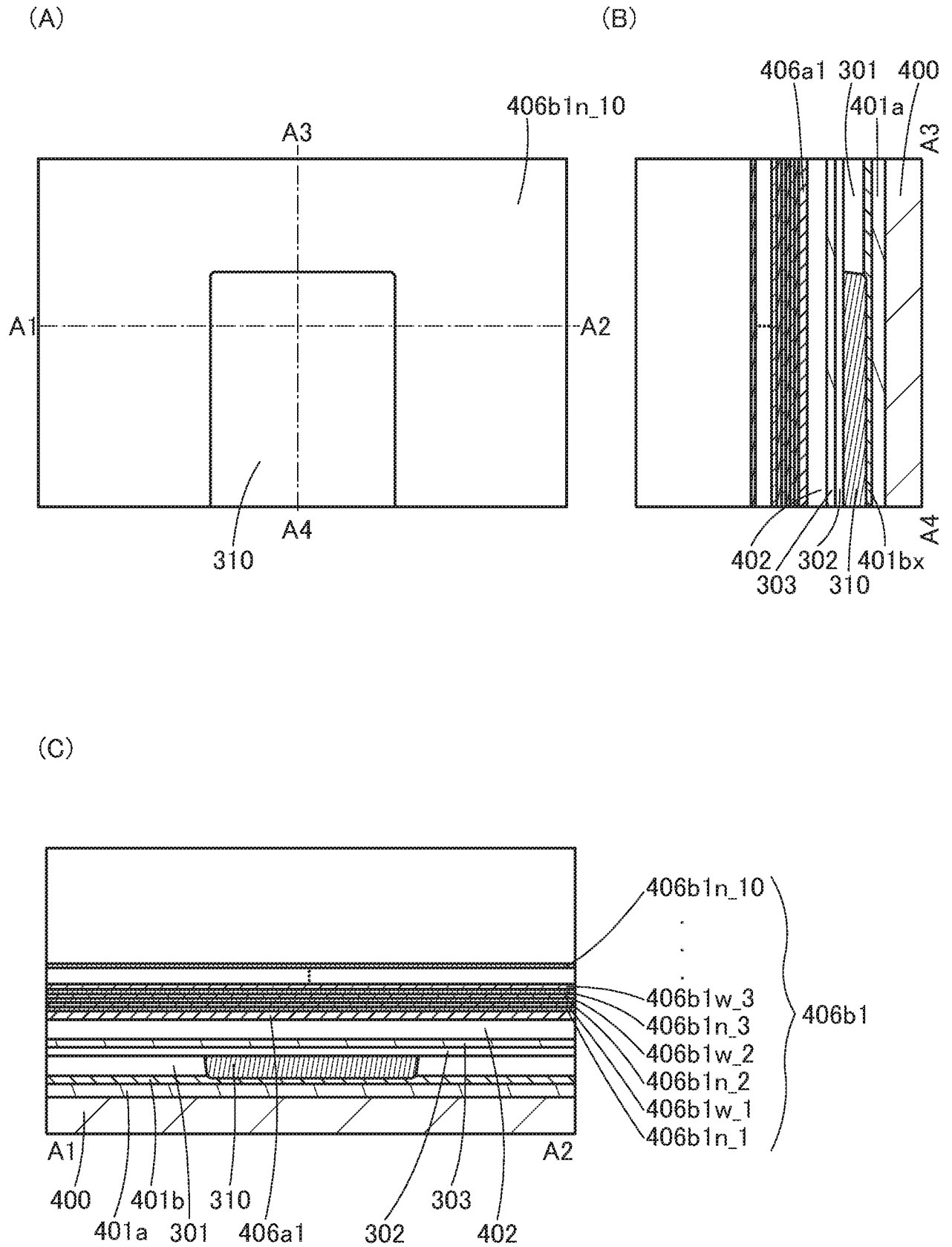


(C)



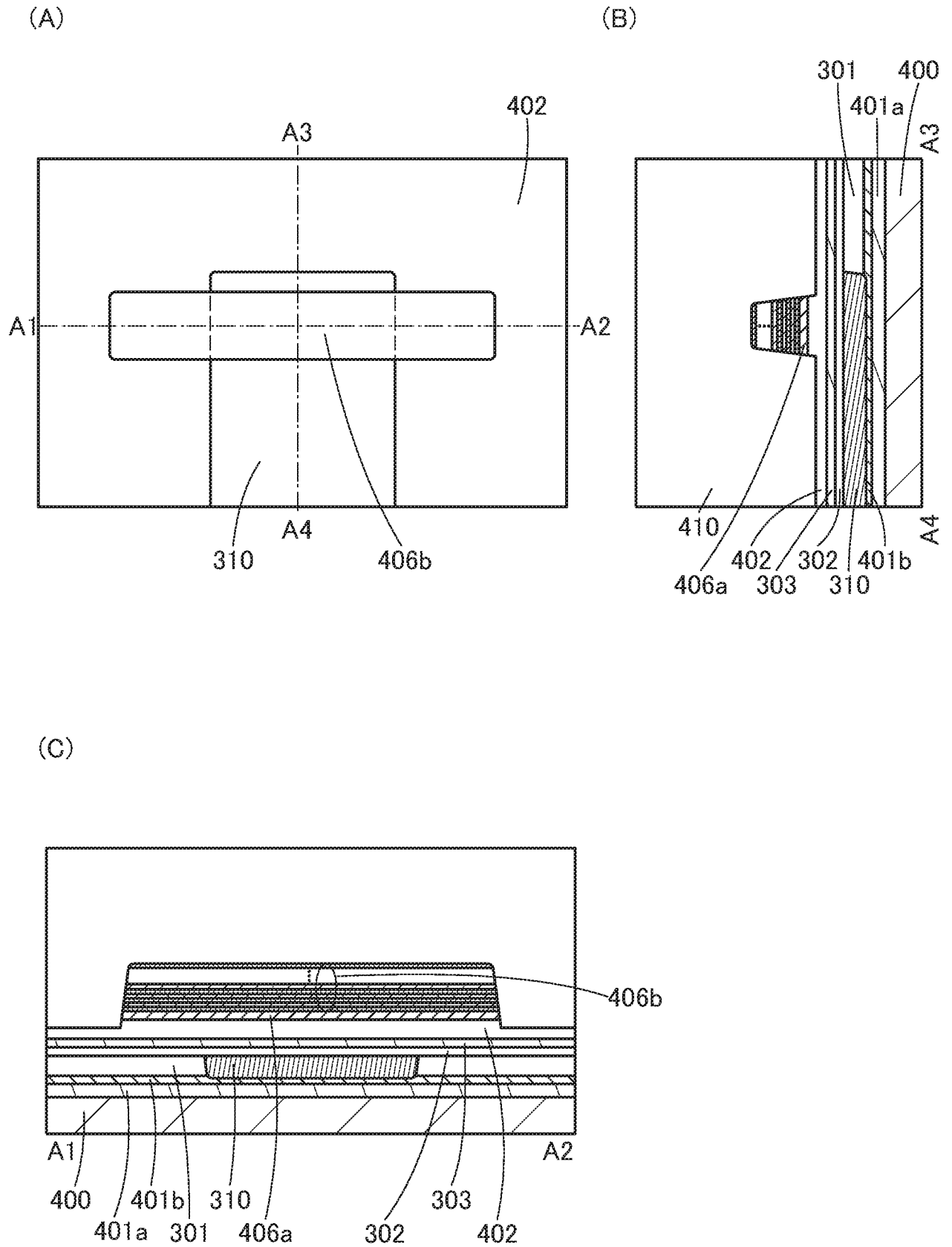
[図9]

9/15



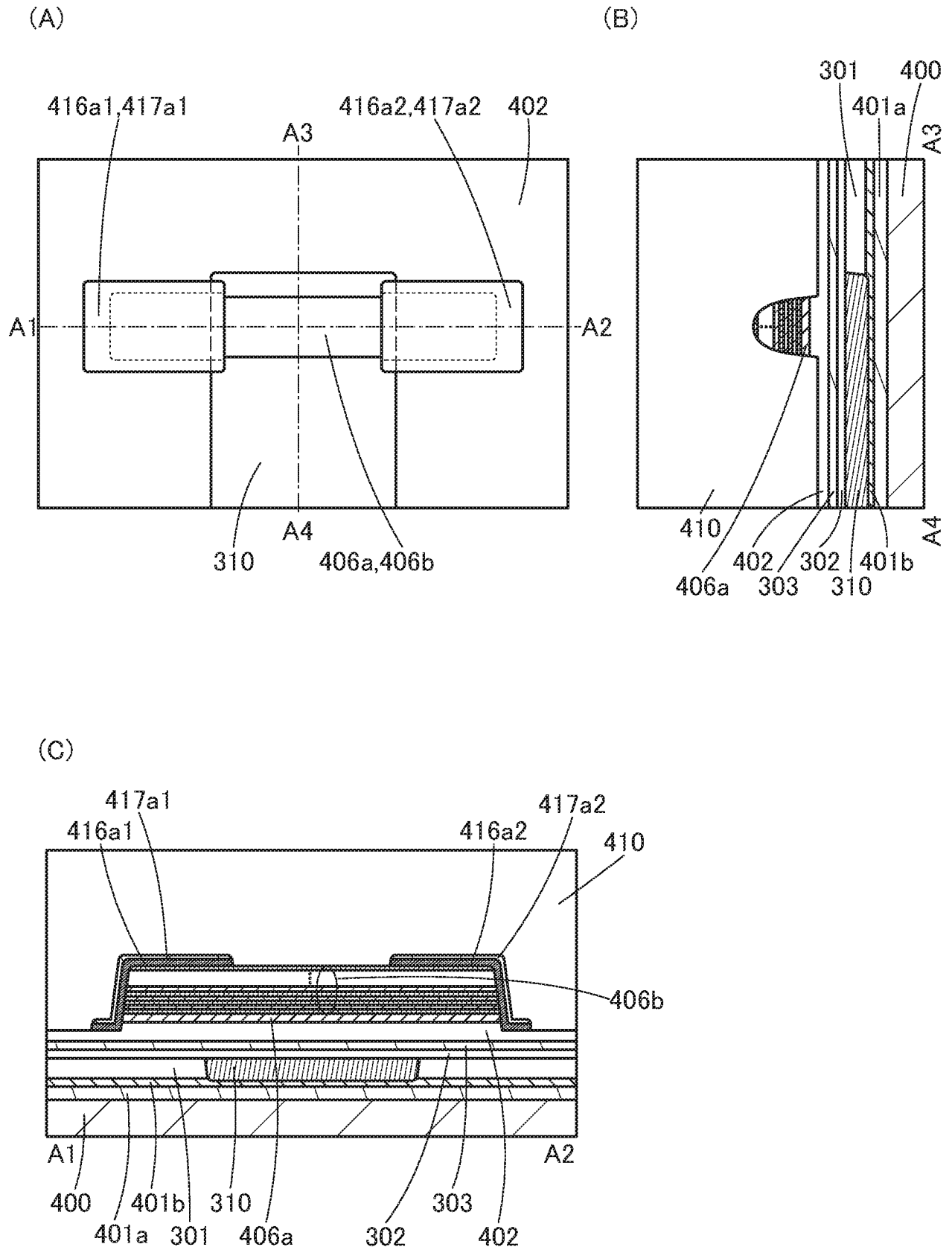
[図10]

10/15



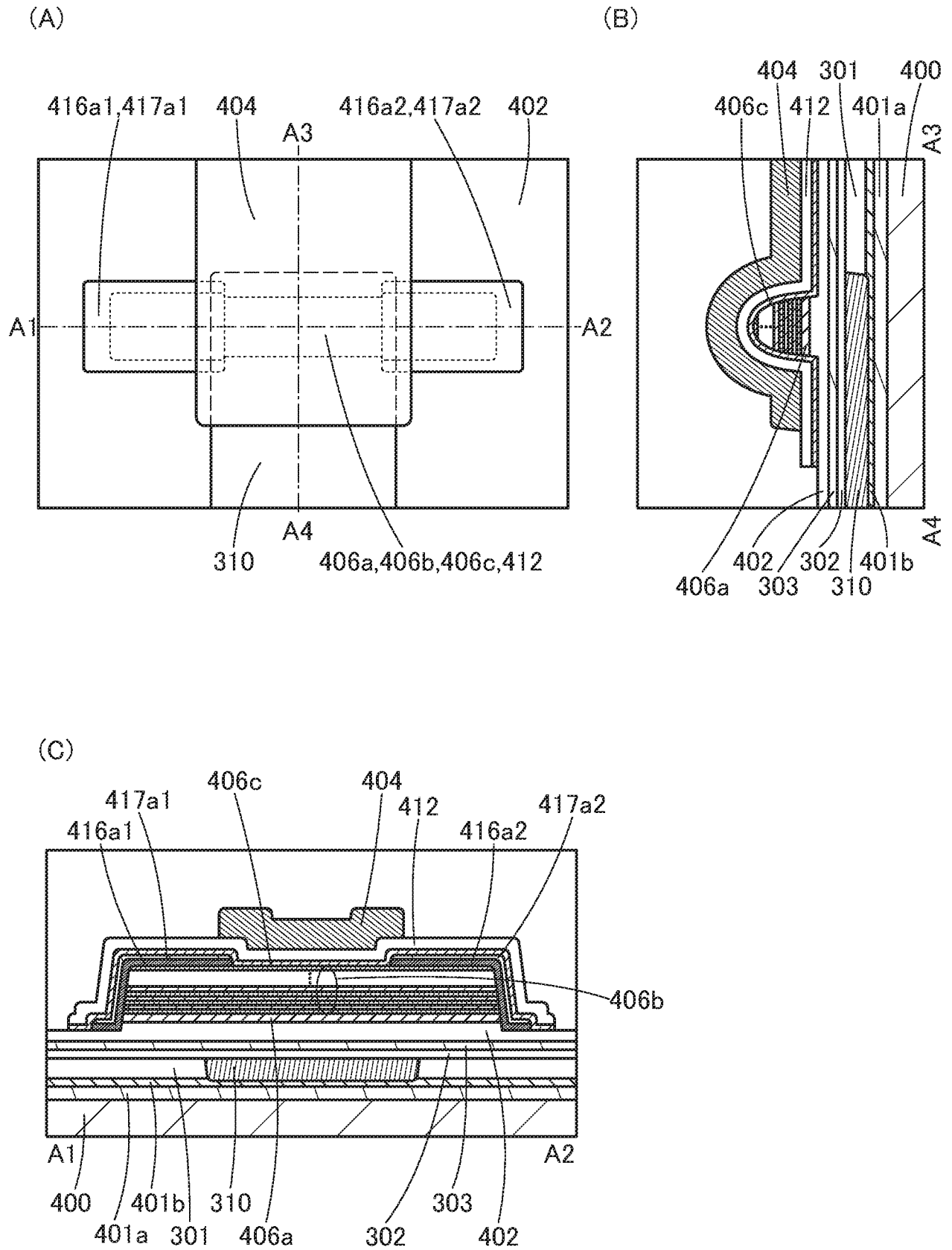
[図 11]

11/15

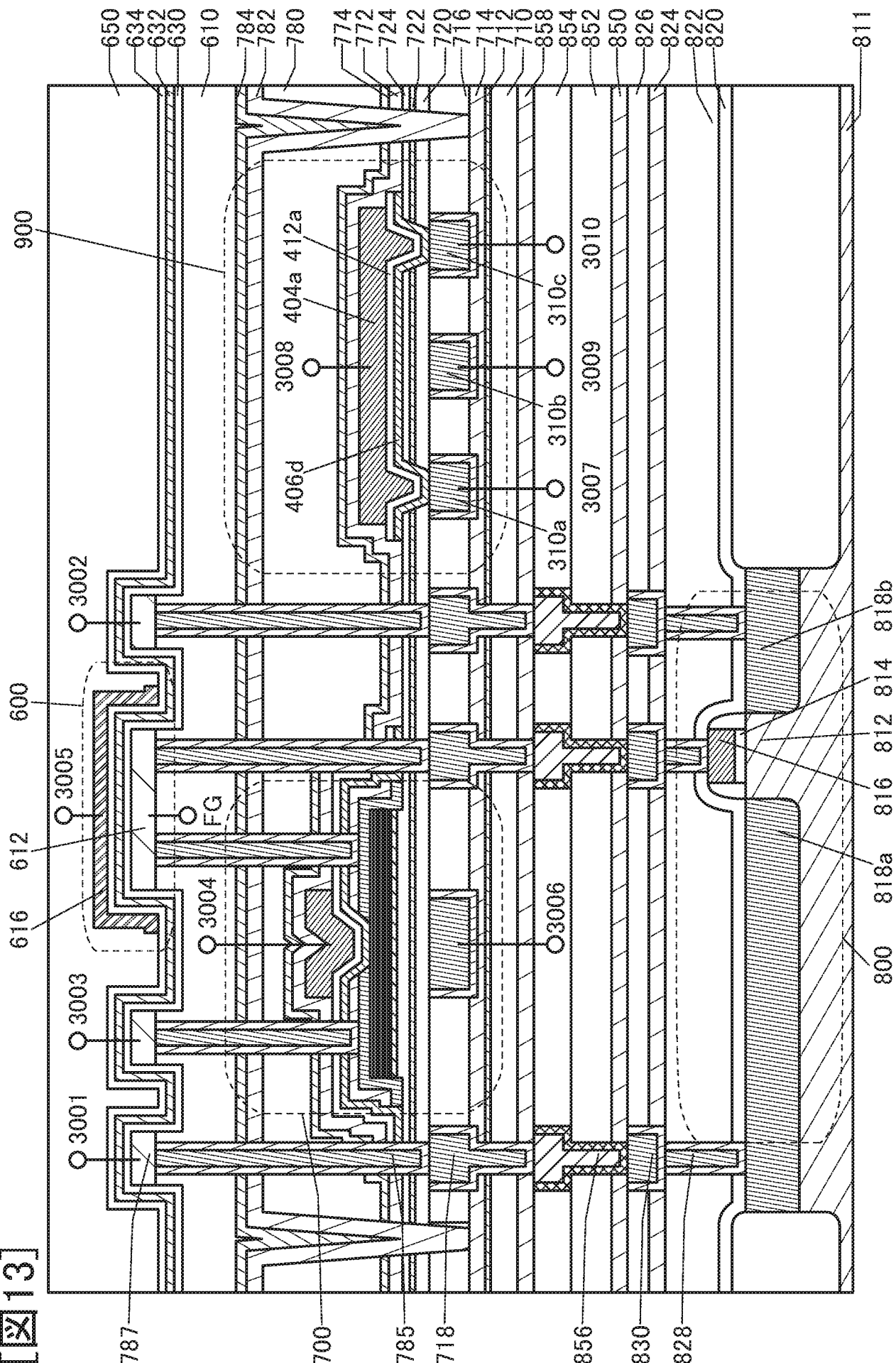


[図12]

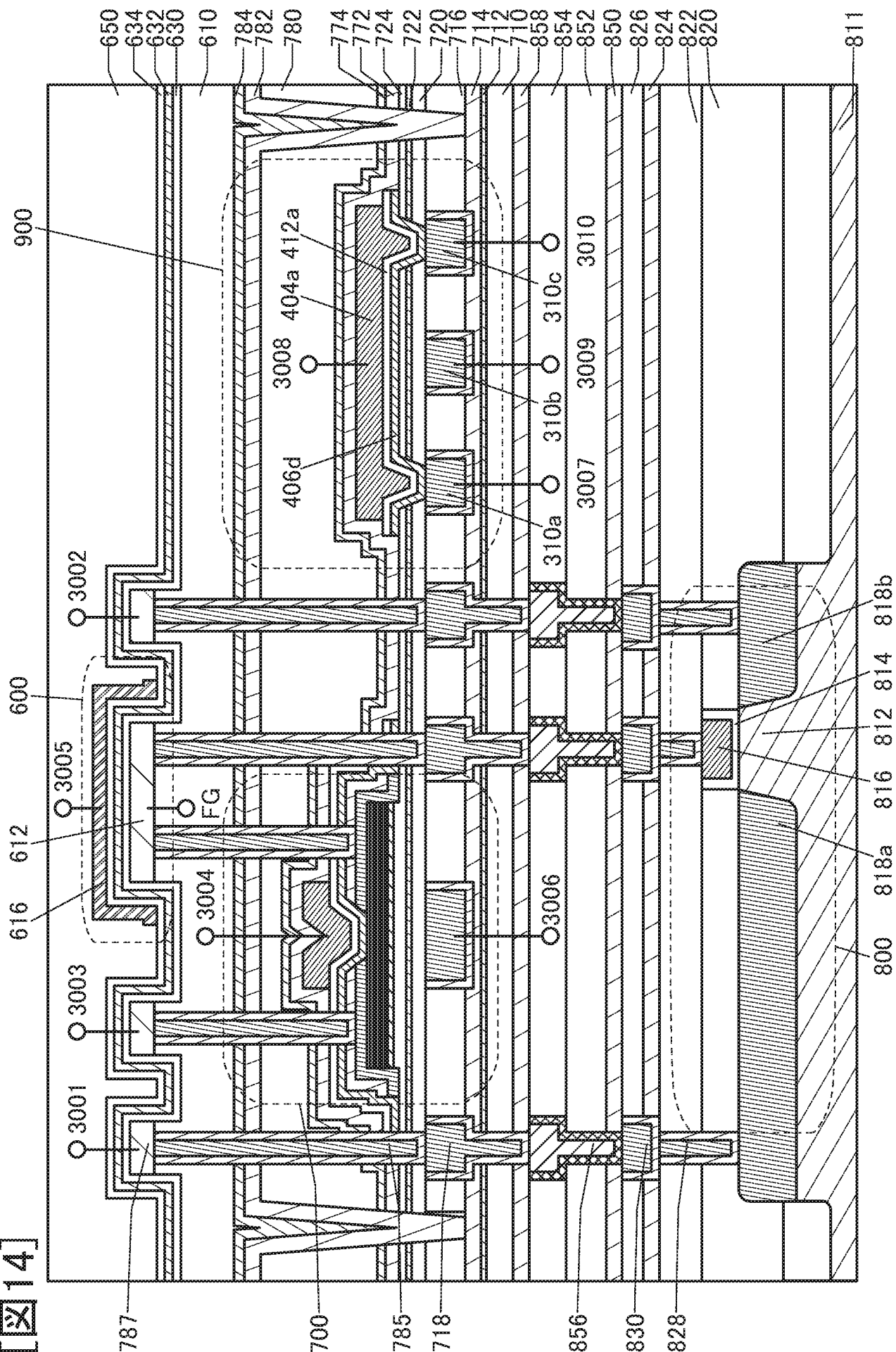
12/15



[図13]



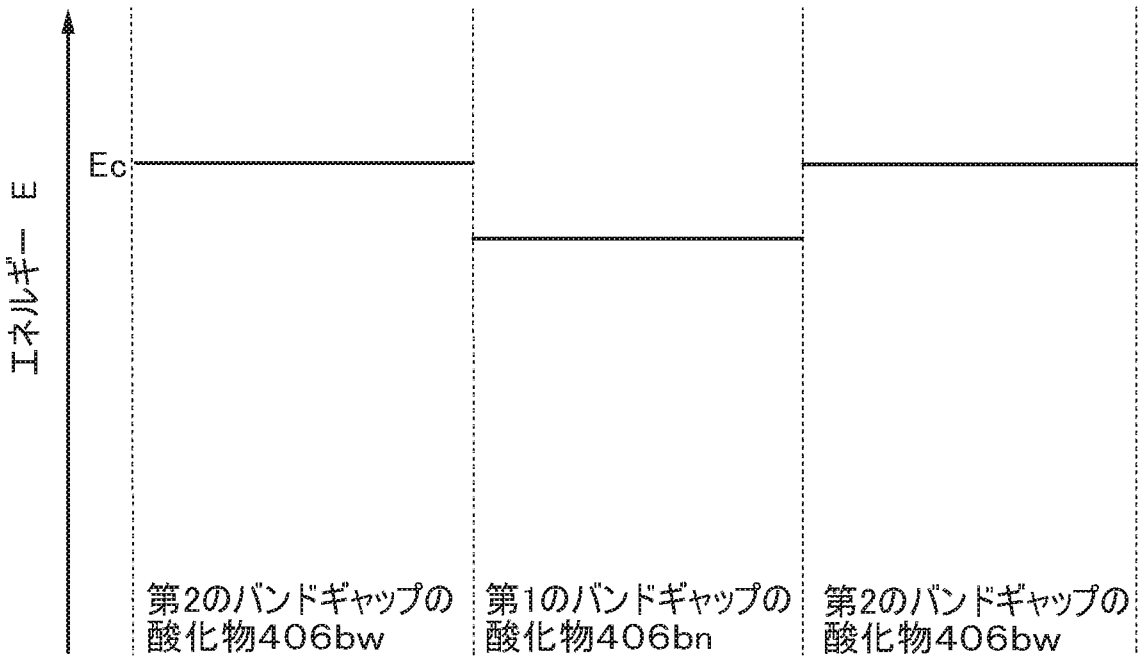
[図14]



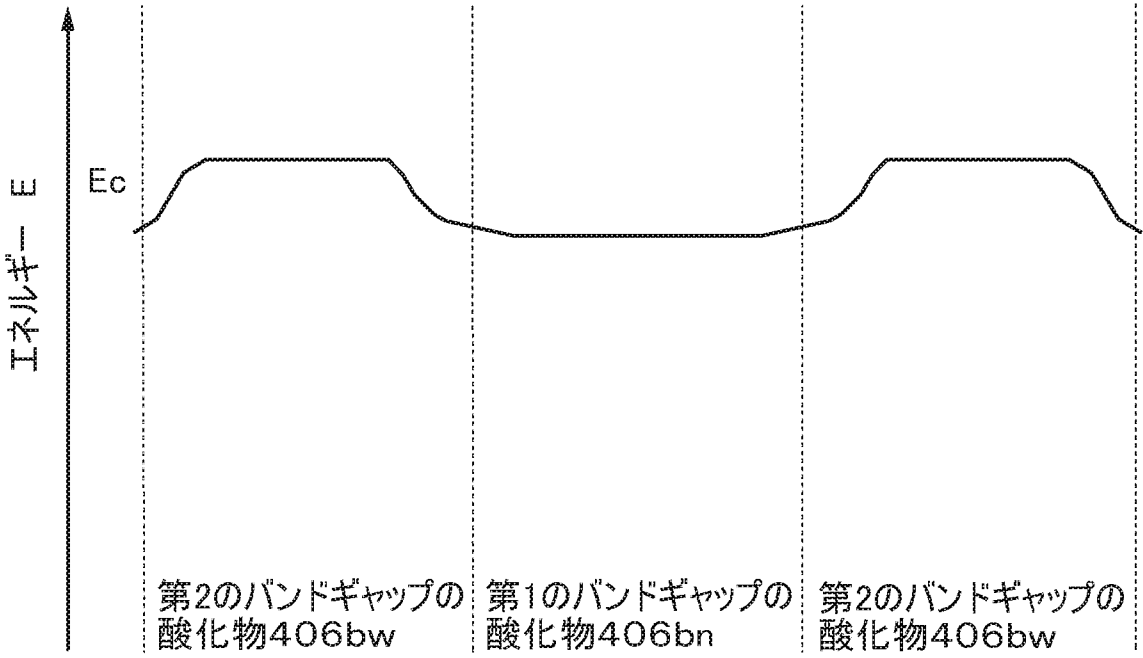
[図15]

15/15

(A)



(B)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/IB2017/053341

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/363(2006.01)i, C23C14/34(2006.01)i, H01L21/285(2006.01)i,
H01L29/786(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L21/363, C23C14/34, H01L21/285, H01L29/786

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2-298257 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 10 December 1990 (10.12.1990), page 3, upper right column to page 5, upper right column; fig. 1, 2 (Family: none)	1, 2, 4-6, 11 3, 7-10, 12-23
X A	JP 2-298258 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 10 December 1990 (10.12.1990), page 3, lower left column to page 5, lower left column; fig. 1, 2 (Family: none)	1, 2, 4-6, 11 3, 7-10, 12-23

☒ 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
26 September 2017 (26.09.17)

Date of mailing of the international search report
10 October 2017 (10.10.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/IB2017/053341

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013-254950 A (Semiconductor Energy Laboratory Co., Ltd.), 19 December 2013 (19.12.2013), entire text; all drawings & US 2013/0299819 A1 entire text; all drawings & WO 2013/168624 A1 & TW 201401514 A & KR 10-2015-0018557 A	1-23
A	JP 2012-164978 A (Semiconductor Energy Laboratory Co., Ltd.), 30 August 2012 (30.08.2012), entire text; all drawings & US 2012/0187395 A1 entire text; all drawings & KR 10-2012-0084678 A	1-23
A	JP 2009-21540 A (Rohm Co., Ltd.), 29 January 2009 (29.01.2009), entire text; all drawings & US 2010/0289004 A1 entire text; all drawings & WO 2008/153121 A1 & EP 2166574 A1 & TW 200908394 A	1-23
A	JP 2008-78257 A (Sony Corp.), 03 April 2008 (03.04.2008), entire text; all drawings (Family: none)	1-23
A	JP 2004-47607 A (Sharp Corp.), 12 February 2004 (12.02.2004), entire text; all drawings (Family: none)	1-23
A	US 2012/0227663 A1 (JHA et al.), 13 September 2012 (13.09.2012), entire text; all drawings (Family: none)	1-23

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01L21/363(2006.01)i, C23C14/34(2006.01)i, H01L21/285(2006.01)i, H01L29/786(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01L21/363, C23C14/34, H01L21/285, H01L29/786

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	JP 2-298257 A（松下電器産業株式会社）1990. 12. 10, 第3頁右上欄 —第5頁右上欄、第1図、第2図（ファミリーなし）	1, 2, 4-6, 11 3, 7-10, 12-23
X A	JP 2-298258 A（松下電器産業株式会社）1990. 12. 10, 第3頁左下欄 —第5頁左下欄、第1図、第2図（ファミリーなし）	1, 2, 4-6, 11 3, 7-10, 12-23

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

26. 09. 2017

国際調査報告の発送日

10. 10. 2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/JP）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

正山 旭

50

9276

電話番号 03-3581-1101 内線 3559

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2013-254950 A (株式会社半導体エネルギー研究所) 2013. 12. 19, 全文、全図 & US 2013/0299819 A1, 全文、全図 & WO 2013/168624 A1 & TW 201401514 A & KR 10-2015-0018557 A	1-23
A	JP 2012-164978 A (株式会社半導体エネルギー研究所) 2012. 08. 30, 全文、全図 & US 2012/0187395 A1, 全文、全図 & KR 10-2012-0084678 A	1-23
A	JP 2009-21540 A (ローム株式会社) 2009. 01. 29, 全文、全図 & US 2010/0289004 A1, 全文、全図 & WO 2008/153121 A1 & EP 2166574 A1 & TW 200908394 A	1-23
A	JP 2008-78257 A (ソニー株式会社) 2008. 04. 03, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-23
A	JP 2004-47607 A (シャープ株式会社) 2004. 02. 12, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-23
A	US 2012/0227663 A1 (JHA et al.) 2012. 09. 13, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-23