

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-58649

(P2020-58649A)

(43) 公開日 令和2年4月16日(2020.4.16)

(51) Int.Cl.
A61B 8/14 (2006.01)

F I
A61B 8/14

テーマコード(参考)
4C601

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2018-192533 (P2018-192533)
(22) 出願日 平成30年10月11日(2018.10.11)

(特許庁注: 以下のものは登録商標)

1. VISUAL BASIC

(71) 出願人 000153878
株式会社半導体エネルギー研究所
神奈川県厚木市長谷398番地
(72) 発明者 木村 清貴
神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
半導体エネルギー研究所内
(72) 発明者 池田 隆之
神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
半導体エネルギー研究所内
Fターム(参考) 4C601 BB03 EE01 EE09 GB06 HH04
HH38 LL01

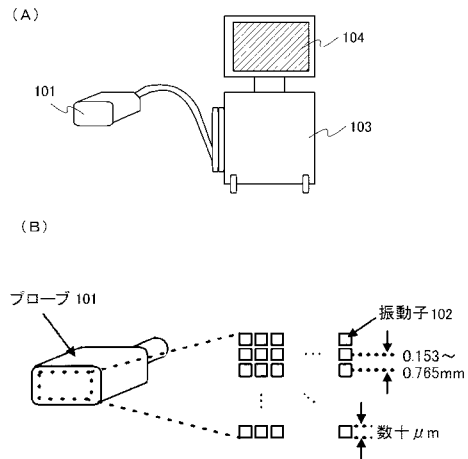
(54) 【発明の名称】 超音波診断装置

(57) 【要約】

【課題】減衰する問題を解消し、画像診断能の向上を可能とする超音波診断装置を提供する。

【解決手段】複数の振動子からの超音波を互いに干渉させて強めあうように、振動子をマトリクス状に配置させた超音波プローブとする。複数の振動子から発信された超音波は、互いに干渉しながら体内に伝わり、その反射波を振動子が受信する。意図的に干渉させて強めた超音波を利用することで人体の深部でも十分な強さの反射波を得ることができ、画像診断能が向上する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

超音波が互いに干渉するようにマトリクス状に配置された複数の振動子と、前記複数の振動子のそれぞれと受信回路を介して接続されるメモリ回路と、前記メモリ回路からデータを読み出して画像処理を行う画像処理回路と、前記画像処理回路から出力される情報を表示する表示部とを有する超音波診断装置。

【請求項 2】

請求項 1 において、前記メモリ回路は、酸化物半導体を有するトランジスタと、前記トランジスタと電氣的に接続する容量と、を有する超音波診断装置。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 において、前記振動子の間隔は、前記超音波の波長の一周分分の距離と等しい超音波診断装置。

【請求項 4】

超音波の 1 周期分の間隔で配置された 2 個以上の振動子を有するプローブと、2 個以上の前記振動子のそれぞれと受信回路を介して接続される複数のメモリ回路と、を有し、前記振動子で受信した前記超音波はアナログデータであり、その前記アナログデータを前記振動子と対応する前記メモリ回路に保持する超音波診断装置。

【請求項 5】

請求項 4 において、前記 2 個以上の振動子のうち、一つの前記振動子から出力される電圧を時間毎に区切って複数のメモリ回路にアナログデータを保持する超音波診断装置。

【請求項 6】

請求項 4 または請求項 5 において、前記メモリ回路は、酸化物半導体を有するトランジスタと、前記トランジスタと電氣的に接続する容量と、を有する超音波診断装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明の様態は、半導体装置を含む超音波診断装置およびその制御方法に関する。特に、超音波プローブ、超音波プローブの走査方法、超音波画像処理システム、または超音波診断装置の制御システムに関する。

【0002】

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

【背景技術】**【0003】**

超音波診断装置のプローブを人間などの生体の表面に当て、超音波診断することで体内の様子が超音波像として表示で得られ、X 線と違って放射能被爆がないため、安全性の高い検査が行われている。また、超音波診断装置は、短時間で被測定物の断層像を観察することができるため、人体の部位診断に重宝されている。

【0004】

また、駐車場における車両検知センサとしても超音波センサが用いられている。駐車エリア 1 台分に 1 つの超音波センサが天井などに設けられ、駐車場全体として複数の超音波センサを用いている。

【0005】

特許文献 1 には、複数の超音波センサを用いて検出対象の位置を特定する半導体装置が開示されている。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0006】**

【特許文献 1】 米国特許公開第 2014 / 0306935 号

10

20

30

40

50

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0007】**

複数の超音波センサを用いる場合、超音波は弾性波であるため、それぞれの位置によっては相互干渉が生じる。そのため、干渉が起きないように様々な対策が講じられている。例えば発振周波数の異なる超音波センサを用いている。

【0008】

超音波は高周波ほど分解能が良くなるが、減衰が大きくなり透過性が悪くなる。超音波診断装置は人体内に発信された超音波が反射波としてプローブに受信した信号をもとに画像を作るが、減衰が大きいと人体の深部では反射エコー（超音波エコー情報とも呼ぶ）は弱くなってしまいうため、増幅器等で補正する必要がある画像の精度が落ちる場合がある。

10

【0009】

減衰する問題を解消し、画像診断能の向上を可能とする超音波診断装置を提供することを課題の一とする。高周波の超音波を用いても高い精度の画像を得ることのできる超音波診断装置を提供することを課題の一とする。また、超音波画像処理システムを提供することも課題の一とする。

【0010】

また、超音波診断に最適な超音波プローブを提供することも課題の一とする。また、新規の超音波プローブの走査方法を提供することも課題の一とする。

【0011】

また、新規の超音波診断装置の制御方法を提供することも課題の一とする。また、超音波診断装置の制御システムを提供することも課題の一とする。

20

【課題を解決するための手段】**【0012】**

上記課題を解決するため、複数の振動子からの超音波を互いに干渉させて強めあうように、振動子をマトリクス状に配置させた超音波プローブとする。複数の振動子から発信された超音波は、互いに干渉しながら体内に伝わり、その反射波を振動子が受信する。意図的に干渉させて強めた超音波を利用することで人体の深部でも十分な強さの反射波を得ることができ、画像診断能が向上する。

【0013】

本明細書で開示する構成の一つは、超音波が互いに干渉するようにマトリクス状に配置された複数の振動子と、複数の振動子のそれぞれと受信回路を介して接続されるメモリ回路と、メモリ回路からデータを読み出して画像処理を行う画像処理回路と、画像処理回路から出力される情報を表示する表示部とを少なくとも有する超音波診断装置である。

30

【0014】

上記構成において、振動子の間隔は、超音波の波長の一周分との距離と等しい。このように振動子を配置することで超音波同士を重ねあわせて指向性を持たせる。また、超音波同士を干渉させて強めあうことで減衰を抑える。

【0015】

また、本明細書で開示する構成の一つは、超音波の1周期分の間隔で配置された2個以上の振動子を有するプローブと、2個以上の振動子のそれぞれと受信回路を介して接続される複数のメモリ回路と、を有し、振動子で受信した超音波はアナログデータであり、そのアナログデータを振動子と対応するメモリ回路に保持する超音波診断装置である。

40

【0016】

上記構成において、前記2個以上の振動子のうち、一つの前記振動子から出力される電圧を時間毎に区切って複数のメモリ回路にアナログデータを保持する。

【0017】

上記各構成において、メモリ回路は、酸化物半導体を有するトランジスタと、前記トランジスタと電氣的に接続する容量と、を有する。酸化物半導体を有するトランジスタを用いることで該トランジスタのオフ状態でのリーク電流を小さくすることができ、メモリ回路

50

のデータ保持時間を長くすることができる。

【0018】

メモリ回路に保持したデータを読み出し、画像表示するために画像処理を行えば、表示部での表示が可能となる。表示部で表示される画像は、白黒またはカラー画像とする。一回の超音波の受信で得られる画像データは一方向分（例えば画像の一行分）となる。複数の方向に超音波を発信し、得られる画像データをつなぎ合わせることで1つの画像を構成することができる。このような画像処理を繰り返せば動画も得ることができる。なお、超音波の発信は、連続発振か、パルス波発信かいずれか一方を適宜選択すればよい。

【0019】

また、複数の二次元画像データを用いて奥行き演算処理を行うことで3次元画像データを構成することもできる。

【0020】

さらにAIシステムを用いる超音波画像処理システムにより、画像診断能の向上を可能とすることもできる。

【0021】

AIシステムを構築するためのソフトウェアのオペレーティングシステムには、Windows（登録商標）、UNIX（登録商標）、macOS（登録商標）等の各種オペレーティングシステムを用いることができる。ソフトウェアのプログラムは、Python、Go、Perl、Ruby、Prelog、Visual Basic、C、C++、Swift、Java（登録商標）、.NETなどの各種プログラミング言語で記述できる。また、アプリケーションをChainer（Pythonで利用できる）、Caffe（PythonおよびC++で利用できる）、TensorFlow（C、C++、およびPythonで利用できる）等のフレームワークを使用して作成してもよい。CNNモデルでは大量の畳み込み（Convolution）処理が必要になる。畳み込み処理は積和演算を使用するため、省電力な積和演算回路を構成できるLSIチップ、特に酸化物半導体材料を用いるトランジスタを用いたICチップを用いることができる。AIシステムを組み込んだICは、ニューラルネット演算を行う回路（マイクロコンピュータ）と呼ばれる場合もある。

【0022】

また、定期的に得られるデータをニューラルネットワーク部に入力し、学習を行うことにより、ニューラルネットワーク処理における演算により、特徴量が抽出され、画像診断能が向上する。なお、学習のためのデータは、通信機能を用いて外部にあるサーバーなどに蓄積し、外部のデバイスでニューラルネットワーク処理を行い、重み係数などを算出しておき、重み係数などに応じて外部から超音波診断装置を制御するシステムとしてもよい。

【発明の効果】

【0023】

複数の振動子からの超音波を意図的に互いに干渉させることで、高周波であっても減衰しにくく、人体の深部においても十分な反射波のデータを取得することができる。例えば、肝臓、膵臓などの診断において、超音波断層像（二次元）を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】本発明の一態様を示す超音波診断装置である。

【図2】本発明の一態様を示す超音波の干渉の様子を示す模式図である。

【図3】本発明の一態様を示すブロック図である。

【図4】本発明の一態様を示すブロック図である。

【図5】本発明の一態様を示すフローチャートである。

【図6】本発明の一態様を示すメモリ回路とタイミングチャートを示す図である。

【図7】超音波発信の複数の物質の反射を示す模式図である。

【図8】半導体装置の動作を説明する断面模式図。

【図9】半導体装置の構成を説明する断面模式図。

10

20

30

40

50

【図10】半導体装置の構成を説明する断面模式図。

【発明を実施するための形態】

【0025】

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

【0026】

(実施の形態1)

図1(A)は超音波診断装置の外観の一例を示す斜視図である。超音波診断装置は、プローブ101と、筐体103と、表示部104とを有し、筐体103内には、電源、制御回路、データを保存するための記憶媒体、他の機器と接続するためのインターフェースなどを有している。また、データ解析、画像処理などは、これらの処理を実行するプログラムをインストールしたコンピュータを筐体103に設けることが好ましい。コンピュータに画像処理などを実行させることのできるプログラムは磁気ディスク(ハードディスクなど)光ディスク、半導体メモリなどの記録媒体に格納して頒布することもできる。なお、超音波診断装置の下面の複数箇所には車輪などの移動手段を設けてもよい。

10

【0027】

図1(A)に示す超音波診断装置は、人体などの生体の被測定物に対してプローブ101(探触子)の振動子から超音波を送信し、反射した超音波の反射波を受信し、そのデータに基づいて被測定物の内部状態を画像として表示部104に表示する。振動子は超音波を送受信する部分であり、PZT(ジルコン酸チタン酸鉛)やPVDf(ポリフッ化ビニリデン)などの piezo 効果を備える材料で作製された圧電素子を用いる。

20

【0028】

図1(B)は超音波診断装置のプローブ101の拡大模式図である。プローブ101内に設けられる一つの振動子102のサイズは数十 μm 角であり、複数の振動子102をマトリクス状に配置する。それぞれの振動子の間隔は、使用する超音波の波長の一周分分の距離に合わせることが好ましく、例えば周波数2MHz以上10MHz以下の超音波を用いる場合には、0.153mm以上0.765mm以下のピッチで配置すればよい。

【0029】

図2(A)には2つの振動子102が同時に発信する場合に干渉している様子を示している。また、図2(B)には、2つの振動子102が少しずつ発信タイミングの異なる超音波を発信する様子を示している。特定の方向に強めあう波を作り出し、指向性を持たせている。

30

【0030】

従来、超音波に指向性を持たせる場合は、超音波が広がらないように平面の波を発信するが、このとき超音波は減衰し、さらにある距離から広がって指向性がなくなってしまう。本実施の形態では、意図的に放射状に超音波を発信させ、多くの波を重ねあわせることで指向性を持たせ、また干渉により強めあうことで減衰を抑えることができる。

【0031】

また、発信時は、複数の振動子がそれぞれ少しずつタイミングをずらして超音波を発信する。タイミングをずらすことで超音波同士の干渉を制御し、特定の方向へ超音波を発信する。受信時は、すべての振動子の受信する反射エコーを電圧に変換し、メモリに書き込む。なるべく多くの振動子で受信することで、振動子同士の受信信号を比較して、超音波を反射した物質の方向や距離を精度よく特定でき、被測定物内の詳細な3次元計測結果が得られる。

40

【0032】

図3にプローブ101から表示部104までのブロック図を示す。プローブ101は2個以上の振動子を備え、送信回路から印加された送信信号を各振動子から超音波信号として被測定物に送信する一方、被測定物内で発生した超音波エコー信号を受信し、電気信号で

50

ある受信信号として受信回路に出力する機能を有する。

【0033】

制御回路109の指示により送信回路105から所望の超音波をプローブ101から発信する命令がされる。複数の振動子から干渉させた超音波をプローブ101から被測定物に照射し、被測定物に照射した超音波の一部が反射してプローブ101で受信する。プローブ101で受信した超音波の反射波はアナログ電圧データとして受信され、メモリ回路107にアナログデータのまま保持される。本実施の形態では、振動子102を多く用いるため、メモリの容量も多く必要とするが、アナログメモリにすることで回路規模を抑えて小さくできる。アナログデータを用いることで正確な値を得ることができる。また、コンパータなどを用いずに、アナログデータをアナログメモリに記憶させるため、電力効率よく記憶させることができる。保持されたアナログ電圧データは画像処理回路108によって順次画像処理され、表示部104に表示される。

10

【0034】

また、振動子102とメモリ回路107の関係を示すブロック図を図4に示す。図4に示すように、 n (n は自然数)個の振動子102に対して n 個のメモリが用意される。各メモリには複数のメモリセルが用意される。振動子から出力されるアナログ電圧データを時間ごとに区切って各メモリセルに書き込む。

【0035】

ここで図5に、超音波の発信から画面表示までのフローチャートの一例を示す。

【0036】

ステップ1として、被測定物のある方向に超音波を発信する。ステップ2として発信した超音波の反射波を受信する。ステップ3として振動子により反射波から得られたアナログ電圧データを時間ごとに各メモリセルに書き込む。ステップ4としてメモリに書き込まれたアナログ電圧を順次または一度に読み出す。読み出し後、測定物の別の方向に超音波を出力する。ステップ5として、読み出されたデータは画像処理される。画像処理のために必要に応じてA/D変換も行う。ステップ6として、画像処理されたデータが画面に表示される。

20

【0037】

なお、一度の超音波送信により得られる画像データは、1方向分(例えば画像の1列分)になる。複数の方向に超音波を発信し、得られる画像データをつなぎ合わせることで1つの画像になる。これを何度も繰り返せば動画にもなる。このような画像処理は、マイクロコンピュータなどを用いて実行することができる。また、AI(Artificial Intelligence)システムを組み込んだIC(推論チップとも呼ぶ)を用いてもよい。AIシステムを組み込んだICは、ニューラルネット演算を行う回路(マイクロコンピュータ)と呼ぶ場合もある。このようなAIシステムを組み込んだICチップを用いる場合には、システム構成を簡素化できる。システムを簡素化すると、演算に用いる電力を削減でき、システム全体として省電力化が図れる。

30

【0038】

図6(A)に、アナログメモリ1セルの回路図を示す。選択1のトランジスタで、メモリに電圧を書き込むアドレスを選択する。電圧を書き込む容量は小さい方が書き込み時間は短く、フレームレートを上げることができるため、選択1のトランジスタはオフ電流の少ないOS-FETが望ましい。書き込み後、選択2のトランジスタが開き読みだされ、画像処理される。なお、OS-FETとは、 I_n 、 G_a 、及び Z_n を少なくとも含む酸化物半導体を活性層とするトランジスタである。

40

【0039】

以下に、図6(A)のメモリセルの選択1、選択2のトランジスタのゲート制御について述べる。

【0040】

選択1はメモリ書き込み時に開き、選択2はメモリ読み出し時に開く。例えば、図4のメモリ1内のメモリセルを1-1、1-2、... 1-n (n は1より大きい整数)とすると、選択

50

1と選択2のゲートのタイミングチャートは図6(B)のようになる。メモリセル1-1の選択1が開いて書き込まれた後、選択1が閉じたとき、1-1の選択2が開いて読みだされ、同時に1-2の選択1が開き書き込まれる。これを順番に繰り返す。図5のフローチャートにおいて、メモリ書込み後、メモリ読出しとあるが、厳密には図6(B)のタイミングチャートのように書き込みをしながら、順次読出しも行っている。

【0041】

また、メモリの書き込み時間は短い方が好ましい。例えば図7のように、発信された超音波が体内の物質1で反射するエコーを反射1、物質2で反射するエコーを反射2とする。物質1と物質2の距離が近いとき、反射1と反射2はほとんど同時に反射するため、メモリ書込み時間が長くと2つの反射が一緒に書き込まれてしまって区別できなくなってしまう。書込み時間を短くするには図6(A)の回路の容量を小さくすればよい。その場合、選択1のリーク電流を小さくする必要があるので、OS-FETを採用することが好ましい。

10

【0042】

(実施の形態2)

本実施の形態では、上記実施の形態で説明した半導体装置の構成に適用可能なトランジスタの構成、具体的には異なる電気特性を有するトランジスタを積層して設ける構成について説明する。特に本実施の形態では、半導体装置を構成するメモリ回路が有する各トランジスタの構成について説明する。当該構成とすることで、半導体装置の設計自由度を高めることができる。また、異なる電気特性を有するトランジスタを積層して設けることで、半導体装置の集積度を高めることができる。

20

【0043】

図8に示す半導体装置は、トランジスタ300と、トランジスタ500と、容量素子600と、を有している。図10(A)はトランジスタ500のチャンネル長方向の断面図であり、図10(B)はトランジスタ500のチャンネル幅方向の断面図であり、図10(C)はトランジスタ300のチャンネル幅方向の断面図である。

【0044】

トランジスタ500は、チャンネル形成領域に金属酸化物を有するトランジスタ(OSトランジスタ)である。トランジスタ500は、オフ電流が小さいため、これを半導体装置が有するOSTランジスタに用いることにより、長期にわたり書き込んだデータ電圧あるいは電荷を保持することが可能である。つまり、リフレッシュ動作の頻度が少ない、あるいは、リフレッシュ動作を必要としないため、半導体装置の消費電力を低減することができる。

30

【0045】

本実施の形態で説明する半導体装置は、図8に示すようにトランジスタ300、トランジスタ500、容量素子600を有する。トランジスタ500はトランジスタ300の上方に設けられ、容量素子600はトランジスタ300、及びトランジスタ500の上方に設けられている。なお、容量素子600は、メモリ回路107における容量素子Csなどとすることができる。

【0046】

トランジスタ300は、基板311上に設けられ、導電体316、絶縁体315、基板311の一部からなる半導体領域313、ソース領域又はドレイン領域として機能する低抵抗領域314a、及び低抵抗領域314bを有する。なお、トランジスタ300は、例えば、上記実施の形態におけるメモリ回路107が有するトランジスタ等に適用することができる。

40

【0047】

トランジスタ300は、図10(C)に示すように、半導体領域313の上面及びチャンネル幅方向の側面が絶縁体315を介して導電体316に覆われている。このように、トランジスタ300をFin型とすることにより、実効上のチャンネル幅が増大することによりトランジスタ300のオン特性を向上させることができる。また、ゲート電極の電界の

50

寄与を高くすることができるため、トランジスタ300のオフ特性を向上させることができる。

【0048】

なお、トランジスタ300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。

【0049】

半導体領域313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、又はドレイン領域となる低抵抗領域314a、及び低抵抗領域314b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。又は、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。又はGaAsとGaAlAs等を用いることで、トランジスタ300をHEMT（High Electron Mobility Transistor）としてもよい。

10

【0050】

低抵抗領域314a、及び低抵抗領域314bは、半導体領域313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、又はホウ素などのp型の導電性を付与する元素を含む。

【0051】

ゲート電極として機能する導電体316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、又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。

20

【0052】

なお、導電体の材料によって仕事関数が決まるため、当該導電体の材料を選択することで、トランジスタの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 tantalum 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ゲ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、特にタンゲステンを用いることが耐熱性の点で好ましい。

【0053】

なお、図8に示すトランジスタ300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。例えば、半導体装置をOSトランジスタのみの単極性回路（nチャネル型トランジスタのみ、などと同極性のトランジスタを意味する）とする場合、図9に示すとおり、トランジスタ300の構成を、酸化物半導体を用いているトランジスタ500と同様の構成にすればよい。なお、トランジスタ500の詳細については後述する。

30

【0054】

トランジスタ300を覆って、絶縁体320、絶縁体322、絶縁体324、及び絶縁体326が順に積層して設けられている。

【0055】

絶縁体320、絶縁体322、絶縁体324、及び絶縁体326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。

40

【0056】

なお、本明細書中において、酸化窒化シリコンとは、その組成として窒素よりも酸素の含有量が多い材料を指し、窒化酸化シリコンとは、その組成として、酸素よりも窒素の含有量が多い材料を示す。また、本明細書中において、酸化窒化アルミニウムとは、その組成として窒素よりも酸素の含有量が多い材料を指し、窒化酸化アルミニウムとは、その組成として、酸素よりも窒素の含有量が多い材料を示す。

【0057】

50

絶縁体 3 2 2 は、その下方に設けられるトランジスタ 3 0 0 などによって生じる段差を平坦化する平坦化膜としての機能を有していてもよい。例えば、絶縁体 3 2 2 の上面は、平坦性を高めるために化学機械研磨 (C M P) 法等を用いた平坦化処理により平坦化されていてもよい。

【 0 0 5 8 】

また、絶縁体 3 2 4 には、基板 3 1 1、又はトランジスタ 3 0 0 などから、トランジスタ 5 0 0 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。

【 0 0 5 9 】

水素に対するバリア性を有する膜の一例として、例えば、C V D 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 5 0 0 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、当該半導体素子の特性が低下する場合がある。したがって、トランジスタ 5 0 0 と、トランジスタ 3 0 0 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。

10

【 0 0 6 0 】

水素の脱離量は、例えば、昇温脱離ガス分析法 (T D S) などを用いて分析することができる。例えば、絶縁体 3 2 4 の水素の脱離量は、T D S 分析において、膜の表面温度が 5 0 から 5 0 0 の範囲において、水素原子に換算した脱離量が、絶縁体 3 2 4 の面積当たりに換算して、 $1 0 \times 1 0^{15} \text{ atoms / cm}^2$ 以下、好ましくは $5 \times 1 0^{15} \text{ atoms / cm}^2$ 以下であればよい。

20

【 0 0 6 1 】

なお、絶縁体 3 2 6 は、絶縁体 3 2 4 よりも誘電率が低いことが好ましい。例えば、絶縁体 3 2 6 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 3 2 6 の比誘電率は、絶縁体 3 2 4 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。

【 0 0 6 2 】

また、絶縁体 3 2 0、絶縁体 3 2 2、絶縁体 3 2 4、及び絶縁体 3 2 6 には容量素子 6 0 0、又はトランジスタ 5 0 0 と接続する導電体 3 2 8、及び導電体 3 3 0 等が埋め込まれている。なお、導電体 3 2 8、及び導電体 3 3 0 は、プラグ又は配線としての機能を有する。また、プラグ又は配線としての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、及び導電体の一部がプラグとして機能する場合もある。

30

【 0 0 6 3 】

各プラグ、及び配線 (導電体 3 2 8、導電体 3 3 0 等) の材料としては、金属材料、合金材料、金属窒化物材料、又は金属酸化物材料などの導電性材料を、単層又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。又は、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。

40

【 0 0 6 4 】

絶縁体 3 2 6、及び導電体 3 3 0 上に、配線層を設けてもよい。例えば、図 8 において、絶縁体 3 5 0、絶縁体 3 5 2、及び絶縁体 3 5 4 が順に積層して設けられている。また、絶縁体 3 5 0、絶縁体 3 5 2、及び絶縁体 3 5 4 には、導電体 3 5 6 が形成されている。導電体 3 5 6 は、トランジスタ 3 0 0 と接続するプラグ、又は配線としての機能を有する。なお導電体 3 5 6 は、導電体 3 2 8、及び導電体 3 3 0 と同様の材料を用いて設けることができる。

【 0 0 6 5 】

50

なお、例えば、絶縁体 350 は、絶縁体 324 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 356 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 350 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 300 とトランジスタ 500 とは、バリア層により分離することができ、トランジスタ 300 からトランジスタ 500 への水素の拡散を抑制することができる。

【0066】

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 300 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 350 と接する構造であることが好ましい。

10

【0067】

絶縁体 354、及び導電体 356 上に、配線層を設けてもよい。例えば、図 8 において、絶縁体 360、絶縁体 362、及び絶縁体 364 が順に積層して設けられている。また、絶縁体 360、絶縁体 362、及び絶縁体 364 には、導電体 366 が形成されている。導電体 366 は、プラグ又は配線としての機能を有する。なお導電体 366 は、導電体 328、及び導電体 330 と同様の材料を用いて設けることができる。

【0068】

なお、例えば、絶縁体 360 は、絶縁体 324 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 366 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 360 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 300 とトランジスタ 500 とは、バリア層により分離することができ、トランジスタ 300 からトランジスタ 500 への水素の拡散を抑制することができる。

20

【0069】

絶縁体 364、及び導電体 366 上に、配線層を設けてもよい。例えば、図 8 において、絶縁体 370、絶縁体 372、及び絶縁体 374 が順に積層して設けられている。また、絶縁体 370、絶縁体 372、及び絶縁体 374 には、導電体 376 が形成されている。導電体 376 は、プラグ又は配線としての機能を有する。なお導電体 376 は、導電体 328、及び導電体 330 と同様の材料を用いて設けることができる。

30

【0070】

なお、例えば、絶縁体 370 は、絶縁体 324 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 376 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 370 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 300 とトランジスタ 500 とは、バリア層により分離することができ、トランジスタ 300 からトランジスタ 500 への水素の拡散を抑制することができる。

【0071】

絶縁体 374、及び導電体 376 上に、配線層を設けてもよい。例えば、図 8 において、絶縁体 380、絶縁体 382、及び絶縁体 384 が順に積層して設けられている。また、絶縁体 380、絶縁体 382、及び絶縁体 384 には、導電体 386 が形成されている。導電体 386 は、プラグ又は配線としての機能を有する。なお導電体 386 は、導電体 328、及び導電体 330 と同様の材料を用いて設けることができる。

40

【0072】

なお、例えば、絶縁体 380 は、絶縁体 324 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 386 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 380 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 300 とトランジスタ 500 とは、バリア層により分離することができ、トラン

50

ンジスタ300からトランジスタ500への水素の拡散を抑制することができる。

【0073】

上記において、導電体356を含む配線層、導電体366を含む配線層、導電体376を含む配線層、及び導電体386を含む配線層、について説明したが、本実施の形態に係る半導体装置はこれに限られるものではない。導電体356を含む配線層と同様の配線層を3層以下にしてもよいし、導電体356を含む配線層と同様の配線層を5層以上にしてもよい。

【0074】

絶縁体384上には絶縁体510、絶縁体512、絶縁体514、及び絶縁体516が、順に積層して設けられている。絶縁体510、絶縁体512、絶縁体514、及び絶縁体516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。

10

【0075】

例えば、絶縁体510、及び絶縁体514には、例えば、基板311、又はトランジスタ300を設ける領域などから、トランジスタ500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。したがって、絶縁体324と同様の材料を用いることができる。

【0076】

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500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、当該半導体素子の特性が低下する場合がある。したがって、トランジスタ500と、トランジスタ300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。

20

【0077】

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510、及び絶縁体514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。

【0078】

特に、酸化アルミニウムは、酸素、及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及び作製後において、水素、水分などの不純物のトランジスタ500への混入を防止することができる。また、トランジスタ500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500に対する保護膜として用いることに適している。

30

【0079】

また、例えば、絶縁体512、及び絶縁体516には、絶縁体320と同様の材料を用いることができる。また、これらの絶縁体に、比較的誘電率が低い材料を適用することで、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512、及び絶縁体516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。

40

【0080】

また、絶縁体510、絶縁体512、絶縁体514、及び絶縁体516には、導電体518、及びトランジスタ500を構成する導電体（例えば、導電体503）等が埋め込まれている。なお、導電体518は、容量素子600、又はトランジスタ300と接続するプラグ、又は配線としての機能を有する。導電体518は、導電体328、及び導電体330と同様の材料を用いて設けることができる。

【0081】

特に、絶縁体510、及び絶縁体514と接する領域の導電体518は、酸素、水素、及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300とトランジスタ500とは、酸素、水素、及び水に対するバリア性を有する

50

層で、分離することができ、トランジスタ300からトランジスタ500への水素の拡散を抑制することができる。

【0082】

絶縁体516の上方には、トランジスタ500が設けられている。

【0083】

図10(A)(B)に示すように、トランジスタ500は、絶縁体514及び絶縁体516に埋め込まれるように配置された導電体503と、絶縁体516及び導電体503の上に配置された絶縁体520と、絶縁体520の上に配置された絶縁体522と、絶縁体522の上に配置された絶縁体524と、絶縁体524の上に配置された酸化物530aと、酸化物530aの上に配置された酸化物530bと、酸化物530b上に互いに離れて配置された導電体542a及び導電体542bと、導電体542a及び導電体542b上に配置され、導電体542aと導電体542bの間に重畳して開口が形成された絶縁体580と、開口の底面及び側面に配置された酸化物530cと、酸化物530cの形成面に配置された絶縁体550と、絶縁体550の形成面に配置された導電体560と、を有する。

10

【0084】

また、図10(A)(B)に示すように、酸化物530a、酸化物530b、導電体542a、及び導電体542bと、絶縁体580との間に絶縁体544が配置されることが好ましい。また、図10(A)(B)に示すように、導電体560は、絶縁体550の内側に設けられた導電体560aと、導電体560aの内側に埋め込まれるように設けられた導電体560bと、を有することが好ましい。また、図10(A)(B)に示すように、絶縁体580、導電体560、及び絶縁体550の上に絶縁体574が配置されることが好ましい。

20

【0085】

なお、以下において、酸化物530a、酸化物530b、及び酸化物530cをまとめて酸化物530という場合がある。

【0086】

なお、トランジスタ500では、チャンネルが形成される領域と、その近傍において、酸化物530a、酸化物530b、及び酸化物530cの3層を積層する構成について示しているが、本発明はこれに限られるものではない。例えば、酸化物530bの単層、酸化物530bと酸化物530aの2層構造、酸化物530bと酸化物530cの2層構造、又は4層以上の積層構造を設ける構成にしてもよい。また、トランジスタ500では、導電体560を2層の積層構造として示しているが、本発明はこれに限られるものではない。例えば、導電体560が、単層構造であってもよいし、3層以上の積層構造であってもよい。また、図8、図10(A)に示すトランジスタ500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。

30

【0087】

ここで、導電体560は、トランジスタのゲート電極として機能し、導電体542a及び導電体542bは、それぞれソース電極又はドレイン電極として機能する。上記のように、導電体560は、絶縁体580の開口、及び導電体542aと導電体542bに挟まれた領域に埋め込まれるように形成される。導電体560、導電体542a及び導電体542bの配置は、絶縁体580の開口に対して、自己整合的に選択される。つまり、トランジスタ500において、ゲート電極を、ソース電極とドレイン電極の間に、自己整合的に配置させることができる。よって、導電体560を位置合わせのマージンを設けることなく形成することができるので、トランジスタ500の占有面積の縮小を図ることができる。これにより、半導体装置の微細化、高集積化を図ることができる。

40

【0088】

さらに、導電体560が、導電体542aと導電体542bの間の領域に自己整合的に形成されるので、導電体560は、導電体542a又は導電体542bと重畳する領域を有さない。これにより、導電体560と導電体542a及び導電体542bとの間に形成

50

される寄生容量を低減することができる。よって、トランジスタ500のスイッチング速度を向上させ、高い周波数特性を有せしめることができる。

【0089】

導電体560は、第1のゲート(トップゲートともいう)電極として機能する場合がある。また、導電体503は、第2のゲート(ボトムゲートともいう)電極として機能する場合がある。その場合、導電体503に印加する電位を、導電体560に印加する電位と、連動させず、独立して変化させることで、トランジスタ500のしきい値電圧を制御することができる。特に、導電体503に負の電位を印加することにより、トランジスタ500のしきい値電圧を0Vより大きくし、オフ電流を低減することが可能となる。したがって、導電体503に負の電位を印加したほうが、印加しない場合よりも、導電体560に印加する電位が0Vのときのドレイン電流を小さくすることができる。

10

【0090】

導電体503は、酸化物530、及び導電体560と、重なるように配置する。これにより、導電体560、及び導電体503に電位を印加した場合、導電体560から生じる電界と、導電体503から生じる電界と、がつながり、酸化物530に形成されるチャネル形成領域を覆うことができる。本明細書等において、第1のゲート電極、及び第2のゲート電極の電界によって、チャネル形成領域を電気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。

【0091】

また、導電体503は、導電体518と同様の構成であり、絶縁体514及び絶縁体516の開口の内壁に接して導電体503aが形成され、さらに内側に導電体503bが形成されている。なお、トランジスタ500では、導電体503a及び導電体503bを積層する構成について示しているが、本発明はこれに限られるものではない。例えば、導電体503は、単層、又は3層以上の積層構造として設ける構成にしてもよい。

20

【0092】

ここで、導電体503aは、水素原子、水素分子、水分子、銅原子などの不純物の拡散を抑制する機能を有する(上記不純物が透過しにくい。)導電性材料を用いることが好ましい。又は、酸素(例えば、酸素原子、酸素分子などの少なくとも一)の拡散を抑制する機能を有する(上記酸素が透過しにくい。)導電性材料を用いることが好ましい。なお、本明細書において、不純物、又は酸素の拡散を抑制する機能とは、上記不純物、又は上記酸素のいずれか一又は、すべての拡散を抑制する機能とする。

30

【0093】

例えば、導電体503aが酸素の拡散を抑制する機能を持つことにより、導電体503bが酸化して導電率が低下することを抑制することができる。

【0094】

また、導電体503が配線の機能を兼ねる場合、導電体503bは、タンゲステン、銅、又はアルミニウムを主成分とする、導電性が高い導電性材料を用いることが好ましい。その場合、導電体505は、必ずしも設けなくともよい。なお、導電体503bを単層で図示したが、積層構造としてもよく、例えば、チタン、窒化チタンと上記導電性材料との積層としてもよい。

40

【0095】

絶縁体520、絶縁体522、絶縁体524、及び絶縁体550は、第2のゲート絶縁膜としての機能を有する。

【0096】

ここで、酸化物530と接する絶縁体524は、化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含む絶縁体を用いることが好ましい。つまり、絶縁体524には、過剰酸素領域が形成されていることが好ましい。このような過剰酸素を含む絶縁体を酸化物530に接して設けることにより、酸化物530中の酸素欠損を低減し、トランジスタ500の信頼性を向上させることができる。

【0097】

50

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

【0098】

また、絶縁体524が、過剰酸素領域を有する場合、絶縁体522は、酸素(例えば、酸素原子、酸素分子など)の拡散を抑制する機能を有する(上記酸素が透過しにくい)ことが好ましい。

10

【0099】

絶縁体522が、酸素や不純物の拡散を抑制する機能を有することで、酸化物530が有する酸素は、絶縁体520側へ拡散することがなく、好ましい。また、導電体503が、絶縁体524や、酸化物530が有する酸素と反応することを抑制することができる。

【0100】

絶縁体522は、例えば、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、アルミニウム及びハフニウムを含む酸化物(ハフニウムアルミネート)、酸化タンタル、酸化ジルコニウム、チタン酸ジルコニウム酸鉛(PZT)、チタン酸ストロンチウム(SrTiO_3)、又は(Ba, Sr) TiO_3 (BST)などのいわゆるhigh-k材料を含む絶縁体を単層又は積層で用いることが好ましい。トランジスタの微細化、及び高集積化が進むと、ゲート絶縁膜の薄膜化により、リーク電流などの問題が生じる場合がある。ゲート絶縁膜として機能する絶縁体にhigh-k材料を用いることで、物理膜厚を保ちながら、トランジスタ動作時のゲート電位の低減が可能となる。

20

【0101】

特に、不純物、及び酸素などの拡散を抑制する機能を有する(上記酸素が透過しにくい)絶縁性材料であるアルミニウム、ハフニウムの一方又は双方の酸化物を含む絶縁体を用いるとよい。アルミニウム、ハフニウムの一方又は双方の酸化物を含む絶縁体として、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、アルミニウム及びハフニウムを含む酸化物(ハフニウムアルミネート)などを用いることが好ましい。このような材料を用いて絶縁体522を形成した場合、絶縁体522は、酸化物530からの酸素の放出や、トランジスタ500の周辺部から酸化物530への水素等の不純物の混入を抑制する層として機能する。

30

【0102】

又は、これらの絶縁体に、例えば、酸化アルミニウム、酸化ビスマス、酸化ゲルマニウム、酸化ニオブ、酸化シリコン、酸化チタン、酸化タングステン、酸化イットリウム、酸化ジルコニウムを添加してもよい。又はこれらの絶縁体を窒化処理してもよい。上記の絶縁体に酸化シリコン、酸化窒化シリコン又は窒化シリコンを積層して用いてもよい。

【0103】

また、絶縁体520は、熱的に安定していることが好ましい。例えば、酸化シリコン及び酸化窒化シリコンは、熱的に安定であるため、好適である。また、high-k材料の絶縁体を酸化シリコン、または酸化窒化シリコン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の絶縁体520や、絶縁体526を得ることができる。

40

【0104】

なお、図10(A)(B)のトランジスタ500では、3層の積層構造からなる第2のゲート絶縁膜として、絶縁体520、絶縁体522、及び絶縁体524が図示されているが、第2のゲート絶縁膜は、単層、2層、又は4層以上の積層構造を有していてもよい。その場合、同じ材料からなる積層構造に限定されず、異なる材料からなる積層構造でもよい。

【0105】

50

トランジスタ500は、チャンネル形成領域を含む酸化物530に、酸化物半導体として機能する金属酸化物を用いることが好ましい。例えば、酸化物530として、In-M-Zn酸化物（元素Mは、アルミニウム、ガリウム、イットリウム、銅、バナジウム、ベリリウム、ホウ素、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、又はマグネシウムなどから選ばれた一種、又は複数種）等の金属酸化物を用いるとよい。特に、酸化物530として適用できるIn-M-Zn酸化物は、CAAC-OS(c-axis aligned crystalline oxide semiconductor)、CAC-OS(Cloud-Aligned Composite oxide semiconductor)であることが好ましい。CAAC-OSとはCAAC構造を有する酸化物を指しており、CAAC構造とは、複数のIGZOのナノ結晶がc軸配向を有し、かつa-b面においては配向せずに連結した結晶構造である。また、CAC-OSとは、例えば、金属酸化物を構成する元素が、0.5nm以上10nm以下、好ましくは、1nm以上2nm以下、又はその近傍のサイズで偏在した材料の一構成である。なお、以下では、金属酸化物において、一つあるいはそれ以上の金属元素が偏在し、該金属元素を有する領域が、0.5nm以上10nm以下、好ましくは、1nm以上2nm以下、又はその近傍のサイズで混合した状態をモザイク状、又はパッチ状ともいう。また、酸化物530として、In-Ga酸化物、In-Zn酸化物を用いてもよい。

10

20

30

40

50

【0106】

また、トランジスタ500には、キャリア濃度の低い金属酸化物を用いることが好ましい。金属酸化物のキャリア濃度を低くする場合においては、金属酸化物中の不純物濃度を低くし、欠陥準位密度を低くすればよい。本明細書等において、不純物濃度が低く、欠陥準位密度の低いことを高純度真性または実質的に高純度真性という。なお、金属酸化物中の不純物としては、例えば、水素、窒素、アルカリ金属、アルカリ土類金属、鉄、ニッケル、シリコン等がある。

【0107】

特に、金属酸化物に含まれる水素は、金属原子と結合する酸素と反応して水になるため、金属酸化物中に酸素欠損を形成する場合がある。金属酸化物中のチャンネル形成領域に酸素欠損が含まれていると、トランジスタはノーマリーオン特性となる場合がある。さらに、酸素欠損に水素が入った欠陥はドナーとして機能し、キャリアである電子が生成されることがある。また、水素の一部が金属原子と結合する酸素と結合して、キャリアである電子を生成する場合がある。従って、水素が多く含まれている金属酸化物を用いたトランジスタは、ノーマリーオン特性となりやすい。

【0108】

酸素欠損に水素が入った欠陥は、金属酸化物のドナーとして機能しうる。しかしながら、当該欠陥を定量的に評価することは困難である。そこで、金属酸化物においては、ドナー濃度ではなく、キャリア濃度で評価される場合がある。よって、本明細書等では、金属酸化物のパラメータとして、ドナー濃度ではなく、電界が印加されない状態を想定したキャリア濃度を用いる場合がある。つまり、本明細書等に記載の「キャリア濃度」は、「ドナー濃度」と言い換えることができる場合がある。

【0109】

よって、金属酸化物を酸化物530に用いる場合、金属酸化物中の水素はできる限り低減されていることが好ましい。具体的には、金属酸化物において、二次イオン質量分析法(SIMS: Secondary Ion Mass Spectrometry)により得られる水素濃度を、 1×10^{20} atoms/cm³未満、好ましくは 1×10^{19} atoms/cm³未満、より好ましくは 5×10^{18} atoms/cm³未満、さらに好ましくは 1×10^{18} atoms/cm³未満とする。水素などの不純物が十分に低減された金属酸化物をトランジスタのチャンネル形成領域に用いることで、安定した電気特性を付与することができる。

【0110】

また、酸化物 530 に金属酸化物を用いる場合、チャネル形成領域との金属酸化物のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが好ましく、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満であることがより好ましく、 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 未満であることがさらに好ましく、 $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ 未満であることがさらに好ましく、 $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 未満であることがさらに好ましい。なお、チャネル形成領域の金属酸化物のキャリア濃度の下限値については、特に限定は無いが、例えば、 $1 \times 10^{-9} \text{ cm}^{-3}$ とすることができる。

【0111】

また、酸化物 530 に金属酸化物を用いる場合、導電体 542 (導電体 542 a、および導電体 542 b) と酸化物 530 とが接することで、酸化物 530 中の酸素が導電体 542 へ拡散し、導電体 542 が酸化する場合がある。導電体 542 が酸化することで、導電体 542 の導電率が低下する蓋然性が高い。なお、酸化物 530 中の酸素が導電体 542 へ拡散することを、導電体 542 が酸化物 530 中の酸素を吸収する、と言い換えることができる。

10

【0112】

また、酸化物 530 中の酸素が導電体 542 (導電体 542 a、および導電体 542 b) へ拡散することで、導電体 542 a と酸化物 530 b との間、および、導電体 542 b と酸化物 530 b との間に異層が形成される場合がある。当該異層は、導電体 542 よりも酸素を多く含むため、当該異層は絶縁性を有すると推定される。このとき、導電体 542 と、当該異層と、酸化物 530 b との 3 層構造は、金属 - 絶縁体 - 半導体からなる 3 層構造とみなすことができ、MIS (Metal - Insulator - Semiconductor) 構造と呼ぶ、または MIS 構造を主としたダイオード接合構造と呼ぶ場合がある。

20

【0113】

なお、上記異層は、導電体 542 と酸化物 530 b との間に形成されることに限られず、例えば、異層が、導電体 542 と酸化物 530 c との間に形成される場合や、導電体 542 と酸化物 530 b との間、および導電体 542 と酸化物 530 c との間に形成される場合がある。

【0114】

また、酸化物 530 においてチャネル形成領域として機能する金属酸化物は、バンドギャップが 2 eV 以上、好ましくは 2.5 eV 以上のものを用いることが好ましい。このように、バンドギャップの大きい金属酸化物を用いることで、トランジスタのオフ電流を低減することができる。

30

【0115】

酸化物 530 は、酸化物 530 b 下に酸化物 530 a を有することで、酸化物 530 a よりも下方に形成された構造物から、酸化物 530 b への不純物の拡散を抑制することができる。また、酸化物 530 b 上に酸化物 530 c を有することで、酸化物 530 c よりも上方に形成された構造物から、酸化物 530 b への不純物の拡散を抑制することができる。

【0116】

なお、酸化物 530 は、各金属原子の原子数比が異なる酸化物により、積層構造を有することが好ましい。具体的には、酸化物 530 a に用いる金属酸化物において、構成元素中の元素 M の原子数比が、酸化物 530 b に用いる金属酸化物における、構成元素中の元素 M の原子数比より、大きいことが好ましい。また、酸化物 530 a に用いる金属酸化物において、In に対する元素 M の原子数比が、酸化物 530 b に用いる金属酸化物における、In に対する元素 M の原子数比より大きいことが好ましい。また、酸化物 530 b に用いる金属酸化物において、元素 M に対する In の原子数比が、酸化物 530 a に用いる金属酸化物における、元素 M に対する In の原子数比より大きいことが好ましい。また、酸化物 530 c は、酸化物 530 a 又は酸化物 530 b に用いることができる金属酸化物を、用いることができる。

40

【0117】

50

また、酸化物530a及び酸化物530cの伝導帯下端のエネルギーが、酸化物530bの伝導帯下端のエネルギーより高くなることが好ましい。また、言い換えると、酸化物530a及び酸化物530cの電子親和力が、酸化物530bの電子親和力より小さいことが好ましい。

【0118】

ここで、酸化物530a、酸化物530b、及び酸化物530cの接合部において、伝導帯下端のエネルギー準位はなだらかに変化する。換言すると、酸化物530a、酸化物530b、及び酸化物530cの接合部における伝導帯下端のエネルギー準位は、連続的に変化又は連続接合するともいうことができる。このようにするためには、酸化物530aと酸化物530bとの界面、及び酸化物530bと酸化物530cとの界面において形成される混合層の欠陥準位密度を低くするとよい。

10

【0119】

具体的には、酸化物530aと酸化物530b、酸化物530bと酸化物530cが、酸素以外に共通の元素を有する（主成分とする）ことで、欠陥準位密度が低い混合層を形成することができる。例えば、酸化物530bがIn-Ga-Zn酸化物の場合、酸化物530a及び酸化物530cとして、In-Ga-Zn酸化物、Ga-Zn酸化物、酸化ガリウムなどを用いるとよい。

【0120】

このとき、キャリアの主たる経路は酸化物530bとなる。酸化物530a、酸化物530cを上述の構成とすることで、酸化物530aと酸化物530bとの界面、及び酸化物530bと酸化物530cとの界面における欠陥準位密度を低くすることができる。そのため、界面散乱によるキャリア伝導への影響が小さくなり、トランジスタ500は高いオン電流を得られる。

20

【0121】

酸化物530b上には、ソース電極、及びドレイン電極として機能する導電体542a、及び導電体542bが設けられる。導電体542a、及び導電体542b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、ルテニウム、イリジウム、ストロンチウム、ランタンから選ばれた金属元素、又は上述した金属元素を成分とする合金か、上述した金属元素を組み合わせた合金等を用いることが好ましい。例えば、窒化タンタル、窒化チタン、タングステン、チタンとアルミニウムを含む窒化物、タンタルとアルミニウムを含む窒化物、酸化ルテニウム、窒化ルテニウム、ストロンチウムとルテニウムを含む酸化物、ランタンとニッケルを含む酸化物などを用いることが好ましい。また、窒化タンタル、窒化チタン、チタンとアルミニウムを含む窒化物、タンタルとアルミニウムを含む窒化物、酸化ルテニウム、窒化ルテニウム、ストロンチウムとルテニウムを含む酸化物、ランタンとニッケルを含む酸化物は、酸化しにくい導電性材料、又は、酸素を吸収しても導電性を維持する材料であるため、好ましい。更に、窒化タンタルなどの金属窒化物膜は、水素又は酸素に対するバリア性があるため好ましい。

30

【0122】

また、図10では、導電体542a、及び導電体542bを単層構造として示したが、2層以上の積層構造としてもよい。例えば、窒化タンタル膜とタングステン膜を積層するとよい。また、チタン膜とアルミニウム膜を積層してもよい。また、タングステン膜上にアルミニウム膜を積層する二層構造、銅-マグネシウム-アルミニウム合金膜上に銅膜を積層する二層構造、チタン膜上に銅膜を積層する二層構造、タングステン膜上に銅膜を積層する二層構造としてもよい。

40

【0123】

また、チタン膜又は窒化チタン膜と、そのチタン膜又は窒化チタン膜上に重ねてアルミニウム膜又は銅膜を積層し、さらにその上にチタン膜又は窒化チタン膜を形成する三層構造、モリブデン膜又は窒化モリブデン膜と、そのモリブデン膜又は窒化モリブデン膜上に

50

重ねてアルミニウム膜又は銅膜を積層し、さらにその上にモリブデン膜又は窒化モリブデン膜を形成する三層構造等がある。なお、酸化インジウム、酸化錫又は酸化亜鉛を含む透明導電材料を用いてもよい。

【0124】

また、図10(A)に示すように、酸化物530の、導電体542a(導電体542b)との界面とその近傍には、低抵抗領域として、領域543a、及び領域543bが形成される場合がある。このとき、領域543aはソース領域又はドレイン領域の一方として機能し、領域543bはソース領域又はドレイン領域の他方として機能する。また、領域543aと領域543bに挟まれる領域にチャンネル形成領域が形成される。

【0125】

酸化物530と接するように上記導電体542a(導電体542b)を設けることで、領域543a(領域543b)の酸素濃度が低減する場合がある。また、領域543a(領域543b)に導電体542a(導電体542b)に含まれる金属と、酸化物530の成分とを含む金属化合物層が形成される場合がある。このような場合、領域543a(領域543b)のキャリア濃度が増加し、領域543a(領域543b)は、低抵抗領域となる。

【0126】

絶縁体544は、導電体542a、及び導電体542bを覆うように設けられ、導電体542a、及び導電体542bの酸化を抑制する。このとき、絶縁体544は、酸化物530の側面を覆い、絶縁体524と接するように設けられてもよい。

【0127】

絶縁体544として、ハフニウム、アルミニウム、ガリウム、イットリウム、ジルコニウム、タンゲステン、チタン、タンタル、ニッケル、ゲルマニウム、ネオジウム、ランタン又は、マグネシウムなどから選ばれた一種、又は二種以上が含まれた金属酸化物を用いることができる。また、絶縁体544として、窒化酸化シリコン又は窒化シリコンなども用いることができる。

【0128】

特に、絶縁体544として、アルミニウム、又はハフニウムの一方又は双方の酸化物を含む絶縁体である、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、アルミニウム、及びハフニウムを含む酸化物(ハフニウムアルミネート)などを用いることが好ましい。特に、ハフニウムアルミネートは、酸化ハフニウム膜よりも、耐熱性が高い。そのため、後の工程での熱処理において、結晶化しにくいため好ましい。なお、導電体542a、及び導電体542bが耐酸化性を有する材料、又は、酸素を吸収しても著しく導電性が低下しない場合、絶縁体544は、必須の構成ではない。求めるトランジスタ特性により、適宜設計すればよい。

【0129】

絶縁体544を有することで、絶縁体580に含まれる水、及び水素などの不純物が酸化物530c、絶縁体550を介して、酸化物530bに拡散することを抑制することができる。また、絶縁体580が有する過剰酸素により、導電体560が酸化するのを抑制することができる。

【0130】

絶縁体550は、第1のゲート絶縁膜として機能する。絶縁体550は、酸化物530cの内側(上面、及び側面)接して配置することが好ましい。絶縁体550は、上述した絶縁体524と同様に、過剰に酸素を含み、かつ加熱により酸素が放出される絶縁体を用いて形成することが好ましい。

【0131】

具体的には、過剰酸素を有する酸化シリコン、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、及び窒素を添加した酸化シリコン、空孔を有する酸化シリコンを用いることができる。特に、酸化シリコン、及び酸化窒化シリコンは熱に対し安定であるため好ましい。

10

20

30

40

50

【0132】

加熱により酸素が放出される絶縁体を、絶縁体550として、酸化物530cの上面に接して設けることにより、絶縁体550から、酸化物530cを通じて、酸化物530bのチャンネル形成領域に効果的に酸素を供給することができる。また、絶縁体524と同様に、絶縁体550中の水又は水素などの不純物濃度が低減されていることが好ましい。絶縁体550の膜厚は、1nm以上20nm以下とするのが好ましい。

【0133】

また、絶縁体550が有する過剰酸素を、効率的に酸化物530へ供給するために、絶縁体550と導電体560との間に金属酸化物を設けてもよい。当該金属酸化物は、絶縁体550から導電体560への酸素拡散を抑制することが好ましい。酸素の拡散を抑制する金属酸化物を設けることで、絶縁体550から導電体560への過剰酸素の拡散が抑制される。つまり、酸化物530へ供給する過剰酸素量の減少を抑制することができる。また、過剰酸素による導電体560の酸化を抑制することができる。当該金属酸化物としては、絶縁体544に用いることができる材料を用いればよい。

10

【0134】

なお、絶縁体550は、第2のゲート絶縁膜と同様に、積層構造としてもよい。トランジスタの微細化、及び高集積化が進むと、ゲート絶縁膜の薄膜化により、リーク電流などの問題が生じる場合があるため、ゲート絶縁膜として機能する絶縁体を、high-k材料と、熱的に安定している材料との積層構造とすることで、物理膜厚を保ちながら、トランジスタ動作時のゲート電位の低減が可能となる。また、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。

20

【0135】

第1のゲート電極として機能する導電体560は、図10(A)(B)では2層構造として示しているが、単層構造でもよいし、3層以上の積層構造であってもよい。

【0136】

導電体560aは、水素原子、水素分子、水分子、窒素原子、窒素分子、酸化窒素分子(N_2O 、 NO 、 NO_2 など)、銅原子などの不純物の拡散を抑制する機能を有する導電性材料を用いることが好ましい。又は、酸素(例えば、酸素原子、酸素分子などの少なくとも一)の拡散を抑制する機能を有する導電性材料を用いることが好ましい。導電体560aが酸素の拡散を抑制する機能を持つことにより、絶縁体550に含まれる酸素により、導電体560bが酸化して導電率が低下することを抑制することができる。酸素の拡散を抑制する機能を有する導電性材料としては、例えば、タンタル、窒化タンタル、ルテニウム、又は酸化ルテニウムなどを用いることが好ましい。また、導電体560aとして、酸化物530に適用できる酸化物半導体を用いることができる。その場合、導電体560bをスパタリング法で成膜することで、導電体560aの電気抵抗値を低下させて導電体にすることができる。これをOC(Oxide Conductor)電極と呼ぶことができる。

30

【0137】

また、導電体560bは、タングステン、銅、又はアルミニウムを主成分とする導電性材料を用いることが好ましい。また、導電体560bは、配線としても機能するため、導電性が高い導電体を用いることが好ましい。例えば、タングステン、銅、又はアルミニウムを主成分とする導電性材料を用いることができる。また、導電体560bは積層構造としてもよく、例えば、チタン、窒化チタンと上記導電性材料との積層構造としてもよい。

40

【0138】

絶縁体580は、絶縁体544を介して、導電体542a、及び導電体542b上に設けられる。絶縁体580は、過剰酸素領域を有することが好ましい。例えば、絶縁体580として、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化酸化シリコン、窒化シリコン、フッ素を添加した酸化シリコン、炭素を添加した酸化シリコン、炭素、及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、又は樹脂などを有することが好ましい。特に、酸化シリコン、及び酸化窒化シリコンは、熱的に安定であるため好ましい。特に、酸化シリ

50

コン、空孔を有する酸化シリコンは、後の工程で、容易に過剰酸素領域を形成することができるため好ましい。

【0139】

絶縁体580は、過剰酸素領域を有することが好ましい。加熱により酸素が放出される絶縁体580を、酸化物530cと接して設けることで、絶縁体580中の酸素を、酸化物530cを通じて、酸化物530へと効率良く供給することができる。なお、絶縁体580中の水又は水素などの不純物濃度が低減されていることが好ましい。

【0140】

絶縁体580の開口は、導電体542aと導電体542bの間の領域に重畳して形成される。これにより、導電体560は、絶縁体580の開口、及び導電体542aと導電体542bに挟まれた領域に、埋め込まれるように形成される。

10

【0141】

半導体装置を微細化するに当たり、ゲート長を短くすることが求められるが、導電体560の導電性が下がらないようにする必要がある。そのために導電体560の膜厚を大きくすると、導電体560はアスペクト比が高い形状となりうる。本実施の形態では、導電体560を絶縁体580の開口に埋め込むように設けるため、導電体560をアスペクト比の高い形状にしても、工程中に導電体560を倒壊させることなく、形成することができる。

【0142】

絶縁体574は、絶縁体580の上面、導電体560の上面、及び絶縁体550の上面に接して設けられることが好ましい。絶縁体574をスパッタリング法で成膜することで、絶縁体550、及び絶縁体580へ過剰酸素領域を設けることができる。これにより、当該過剰酸素領域から、酸化物530中に酸素を供給することができる。

20

【0143】

例えば、絶縁体574として、ハフニウム、アルミニウム、ガリウム、イットリウム、ジルコニウム、タンゲステン、チタン、タンタル、ニッケル、ゲルマニウム、又はマグネシウムなどから選ばれた一種、又は二種以上が含まれた金属酸化物を用いることができる。

【0144】

特に、酸化アルミニウムはバリア性が高く、0.5nm以上3.0nm以下の薄膜であっても、水素、及び窒素の拡散を抑制することができる。したがって、スパッタリング法で成膜した酸化アルミニウムは、酸素供給源であるとともに、水素などの不純物のバリア膜としての機能も有することができる。

30

【0145】

また、絶縁体574の上に、層間膜として機能する絶縁体581を設けることが好ましい。絶縁体581は、絶縁体524などと同様に、膜中の水又は水素などの不純物濃度が低減されていることが好ましい。

【0146】

また、絶縁体581、絶縁体574、絶縁体580、及び絶縁体544に形成された開口に、導電体540a、及び導電体540bを配置する。導電体540a及び導電体540bは、導電体560を挟んで対向して設ける。導電体540a及び導電体540bは、後述する導電体546、及び導電体548と同様の構成である。

40

【0147】

絶縁体581上には、絶縁体582が設けられている。絶縁体582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。したがって、絶縁体582には、絶縁体514と同様の材料を用いることができる。例えば、絶縁体582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。

【0148】

特に、酸化アルミニウムは、酸素、及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

50

化アルミニウムは、トランジスタの作製工程中及び作製後において、水素、水分などの不純物のトランジスタ500への混入を防止することができる。また、トランジスタ500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500に対する保護膜として用いることに適している。

【0149】

また、絶縁体582上には、絶縁体586が設けられている。絶縁体586は、絶縁体320と同様の材料を用いることができる。また、これらの絶縁体に、比較的誘電率が低い材料を適用することで、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586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。

【0150】

また、絶縁体520、絶縁体522、絶縁体524、絶縁体544、絶縁体580、絶縁体574、絶縁体581、絶縁体582、及び絶縁体586には、導電体546、及び導電体548等が埋め込まれている。

【0151】

導電体546、及び導電体548は、容量素子600、トランジスタ500、又はトランジスタ300と接続するプラグ、又は配線としての機能を有する。導電体546、及び導電体548は、導電体328、及び導電体330と同様の材料を用いて設けることができる。

【0152】

続いて、トランジスタ500の上方には、容量素子600が設けられている。容量素子600は、導電体610と、導電体620、絶縁体630とを有する。

【0153】

また、導電体546、及び導電体548上に、導電体612を設けてもよい。導電体612は、トランジスタ500と接続するプラグ、又は配線としての機能を有する。導電体610は、容量素子600の電極としての機能を有する。なお、導電体612、及び導電体610は、同時に形成することができる。

【0154】

導電体612、及び導電体610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、ネオジウム、スカンジウムから選ばれた元素を含む金属膜、又は上述した元素を成分とする金属窒化物膜（窒化タンタル膜、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。

【0155】

図8では、導電体612、及び導電体610は単層構造を示したが、当該構成に限定されず、2層以上の積層構造でもよい。例えば、バリア性を有する導電体と導電性が高い導電体との間に、バリア性を有する導電体、及び導電性が高い導電体に対して密着性が高い導電体を形成してもよい。

【0156】

絶縁体630を介して、導電体610と重畳するように、導電体620を設ける。なお、導電体620は、金属材料、合金材料、又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。

【0157】

導電体620、及び絶縁体630上には、絶縁体640が設けられている。絶縁体640は、絶縁体320と同様の材料を用いて設けることができる。また、絶縁体640は、

10

20

30

40

50

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。

【0158】

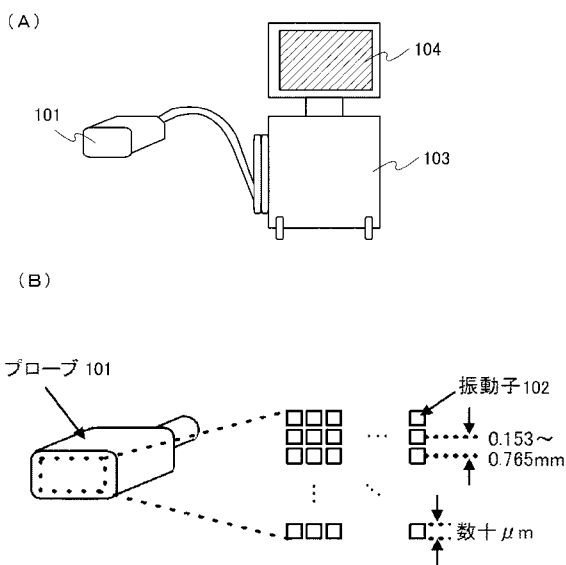
本構造を用いることで、酸化物半導体を有するトランジスタを用いた半導体装置において、微細化又は高集積化を図ることができる。

【符号の説明】

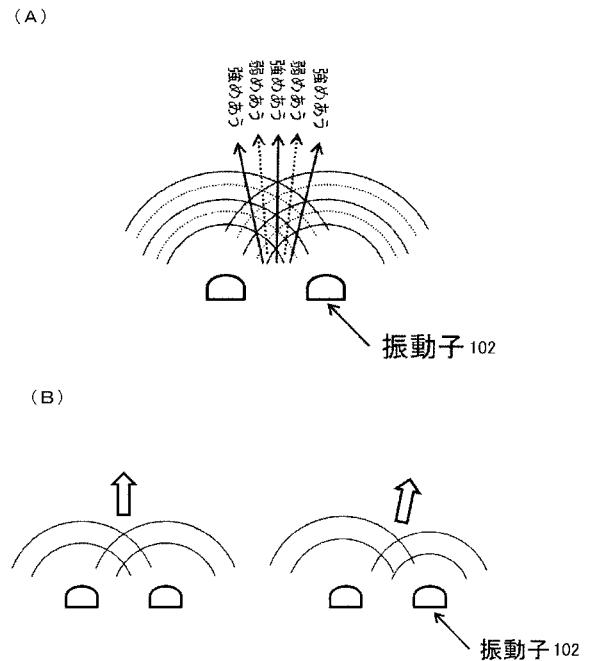
【0159】

- 101 プローブ
- 102 振動子
- 103 筐体
- 104 表示部
- 105 送信回路
- 107 メモリ回路
- 108 画像処理回路
- 109 制御回路

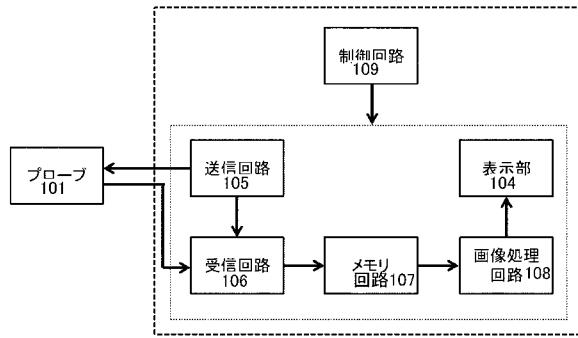
【図1】



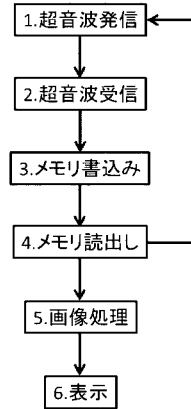
【図2】



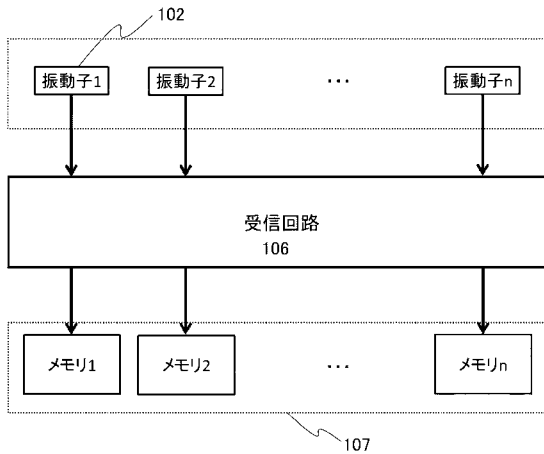
【 図 3 】



【 図 5 】

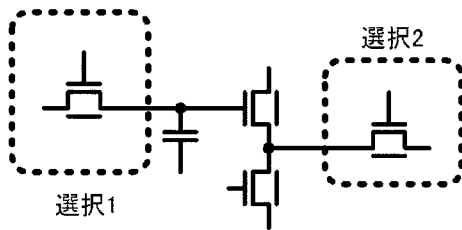


【 図 4 】

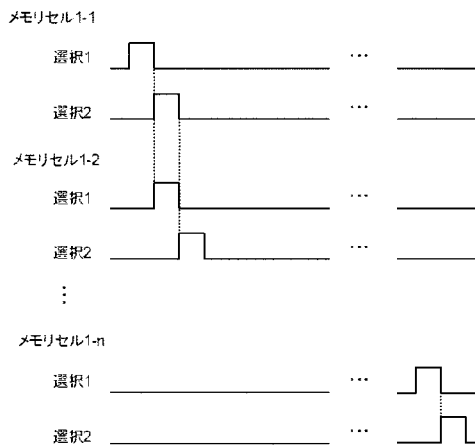


【 図 6 】

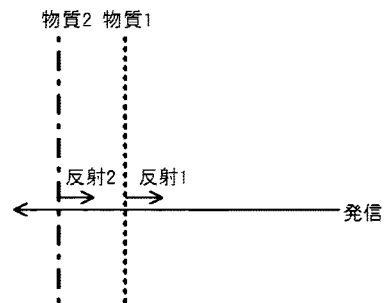
(A) メモリ回路 107



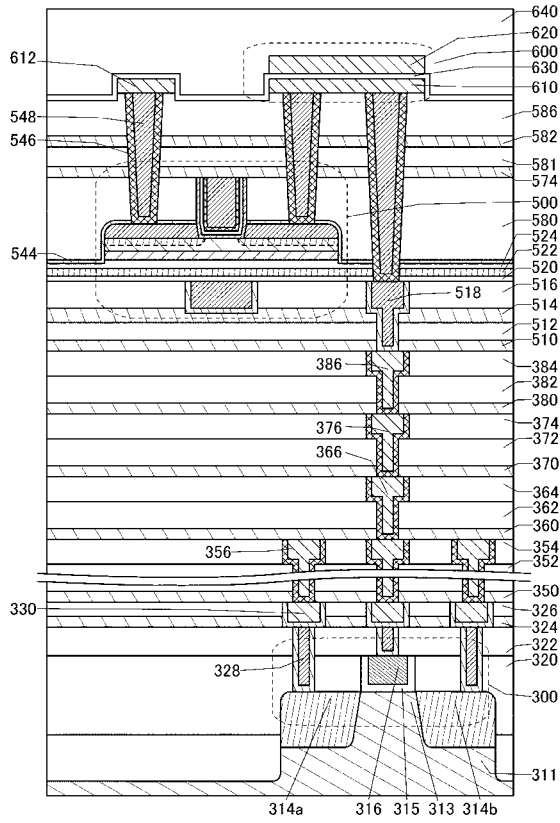
(B)



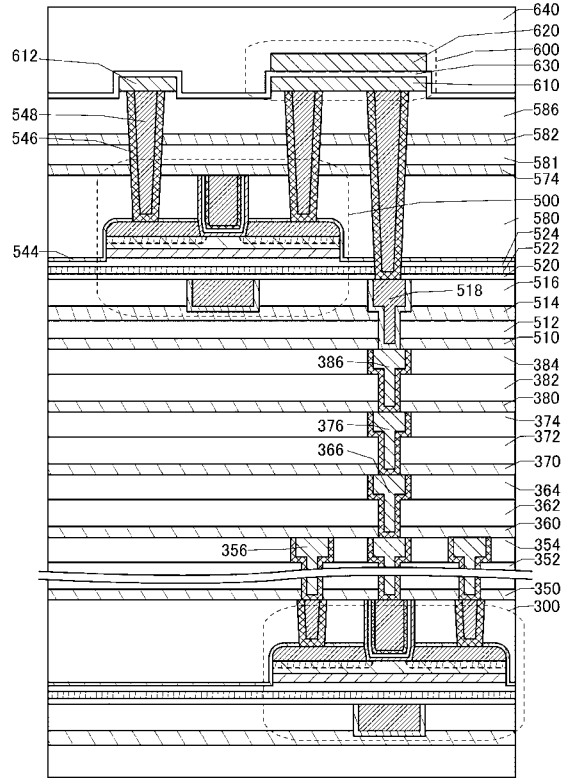
【 図 7 】



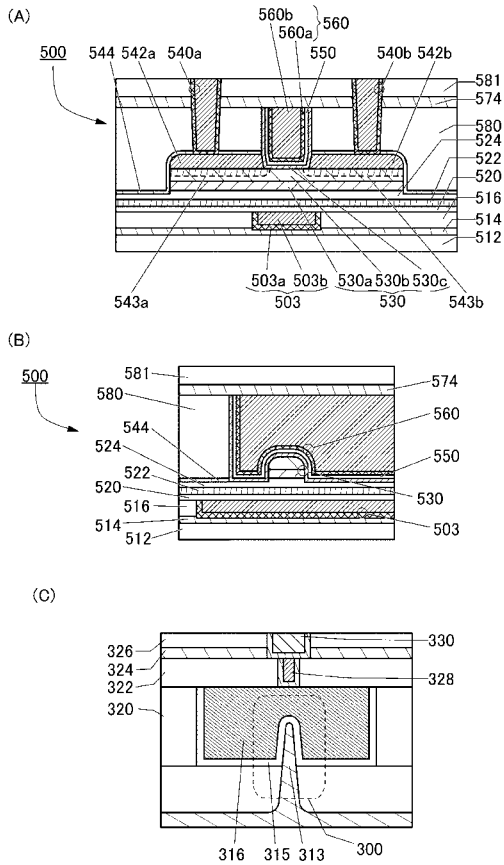
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



| | | | |
|----------------|--|---------|------------|
| 专利名称(译) | 超声波诊断仪 | | |
| 公开(公告)号 | JP2020058649A | 公开(公告)日 | 2020-04-16 |
| 申请号 | JP2018192533 | 申请日 | 2018-10-11 |
| [标]申请(专利权)人(译) | 株式会社半导体能源研究所 | | |
| 申请(专利权)人(译) | 半导体能源研究所有限公司 | | |
| [标]发明人 | 木村清貴 池田隆之 | | |
| 发明人 | 木村 清貴 池田 隆之 | | |
| IPC分类号 | A61B8/14 | | |
| FI分类号 | A61B8/14 | | |
| F-TERM分类号 | 4C601/BB03 4C601/EE01 4C601/EE09 4C601/GB06 4C601/HH04 4C601/HH38 4C601/LL01 | | |
| 外部链接 | Espacenet | | |

摘要(译)

要解决的问题：提供一种超声诊断设备，该超声诊断设备解决衰减问题并可以提高图像诊断能力。 解决方案：提供了一个超声探头，其中的换能器排列成矩阵，以便来自多个换能器的超声波相互干扰并相互增强。从多个振动器发射的超声波在彼此干涉的同时被发射到身体，并且反射波被振动器接收。通过利用被故意干扰和增强的超声波，即使在人体的深处也可以获得足够强度的反射波，并且提高了图像的诊断能力。 [选型图]图1

