

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7244139号
(P7244139)

(45)発行日 令和5年3月22日(2023.3.22)

(24)登録日 令和5年3月13日(2023.3.13)

(51)国際特許分類	F I			
H 0 1 L 21/336 (2006.01)	H 0 1 L	29/78	3 0 1 H	
H 0 1 L 29/78 (2006.01)	H 0 1 L	29/78	3 0 1 G	
H 0 1 Q 23/00 (2006.01)	H 0 1 L	29/78	3 0 1 S	
	H 0 1 Q	23/00		

請求項の数 22 (全14頁)

(21)出願番号	特願2022-23787(P2022-23787)	(73)特許権者	515351884
(22)出願日	令和4年2月18日(2022.2.18)		ユニスト(ウルサン ナショナル インス
(65)公開番号	特開2023-4844(P2023-4844A)		ティテュート オブ サイエンス アンド
(43)公開日	令和5年1月17日(2023.1.17)		テクノロジー)
審査請求日	令和4年2月18日(2022.2.18)		大韓民国 4 4 9 1 9 ウルサン ウルチ
(31)優先権主張番号	10-2021-0082531		ユーグン オニャン - ウップ ユニスト -
(32)優先日	令和3年6月24日(2021.6.24)		ギル 5 0
(33)優先権主張国・地域又は機関	韓国(KR)	(74)代理人	100105957
			弁理士 恩田 誠
		(74)代理人	100068755
			弁理士 恩田 博宣
		(74)代理人	100142907
			弁理士 本田 淳
		(72)発明者	キム ギョン ロク
			大韓民国 4 4 9 1 9 ウルサン ウルチ
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 テラヘルツ波を検出するための性能因子が独立的な一体型電界効果トランジスタ - アンテナ融合素子

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ゲートをアンテナとして活用するテラヘルツ波検出用電界効果トランジスタであって、ソース及び前記ソースを取り囲む形態のチャネル領域の外側に形成されたドレインを含むシリコン基板と、

前記シリコン基板の表面上に形成される誘電層の上段において、前記シリコン基板と隔離して前記チャネル領域に対応して形成されているゲートと、

を含み、
前記ドレインは、前記電界効果トランジスタのテラヘルツ波の受信率に関する第1性能因子に基づいて決定された幅を有し、

前記チャネル領域は、前記電界効果トランジスタによって受信されるテラヘルツ波の検出に関する第2性能因子に基づいて決定された幅を有する、電界効果トランジスタ。

【請求項 2】

前記シリコン基板に垂直な方向から見ると、前記ソースは円形であり、前記チャネル領域はリング状であり、前記ドレインはリング状である、請求項1に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 3】

前記ゲートは、前記シリコン基板に垂直な方向から見ると、前記チャネル領域を取り囲むように形成されている、請求項1に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 4】

前記ソースの中心と前記チャンネル領域の中心は互いに離隔している、請求項 1 に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 5】

前記チャンネル領域の幅は、前記ソースから前記ドレインまでの最短距離と同じ長さである、請求項 1 に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 6】

前記ドレインの幅は、前記電界効果トランジスタのターゲットテラヘルツ波に対応するターゲット波長、前記ターゲット波長の $1/2$ 、及び前記ターゲット波長の $1/4$ のうち 1 つに対応する長さである、請求項 1 に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 7】

前記チャンネル領域の幅は、前記ソースの幅及び前記ゲートの幅に基づいて決定される、請求項 1 に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 8】

前記チャンネル領域の幅は、前記電界効果トランジスタに対するテラヘルツ波の印加にตอบสนองして生成される電荷密度分布の長さを超過する長さである、請求項 1 に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 9】

前記ドレインの幅は、前記第 1 性能因子に基づいて決定され、

前記チャンネル領域の幅は、前記第 1 性能因子とは独立的に前記第 2 性能因子のみによって決定される、請求項 1 に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 10】

前記ゲートは、前記シリコン基板に垂直な方向から見ると、前記ソースと一部オーバーラップされる、請求項 1 に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 11】

前記ゲートは、前記シリコン基板に垂直な方向から見ると、前記ドレインと一部オーバーラップされる、請求項 1 に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 12】

ゲートをアンテナとして活用するテラヘルツ波検出用電界効果トランジスタの製造方法であって、

シリコン基板の一部をドーピングしてソースを形成し、前記ソースを取り囲む形態のチャンネル領域の外側をドーピングしてドレインを、前記電界効果トランジスタのテラヘルツ波の受信率に関する第 1 性能因子に基づいて決定された幅で形成するステップと、

前記シリコン基板の表面上に形成される誘電層の上段で、前記シリコン基板と離隔して前記チャンネル領域に対応するゲートを形成するステップと、

を含み、

前記チャンネル領域は、前記電界効果トランジスタによって受信されるテラヘルツ波の検出に関する第 2 性能因子に基づいて決定されている幅を有する、電界効果トランジスタ製造方法。

【請求項 13】

前記シリコン基板に垂直な方向から見ると、前記ソースは円形であり、前記チャンネル領域はリング状であり、前記ドレインはリング状である、請求項 12 に記載の電界効果トランジスタ製造方法。

【請求項 14】

前記ゲートを形成するステップは、前記シリコン基板に垂直な方向から見ると、前記チャンネル領域を取り囲むように前記ゲートを形成するステップを含む、請求項 12 に記載の電界効果トランジスタ製造方法。

【請求項 15】

前記ドレインを形成するステップは、前記ソースの中心と前記チャンネル領域の中心は互いに離隔するように形成しているステップを含む、請求項 12 に記載の電界効果トランジスタ製造方法。

10

20

30

40

50

【請求項 16】

前記チャネル領域の幅は、前記ソースから前記ドレインまでの最短距離と同じ長さである、請求項 12 に記載の電界効果トランジスタ製造方法。

【請求項 17】

ドレインの幅は、前記電界効果トランジスタのターゲットテラヘルツ波に対応するターゲット波長、前記ターゲット波長の $1/2$ 、及び前記ターゲット波長の $1/4$ のうち 1 つに対応する長さである、請求項 12 に記載の電界効果トランジスタ製造方法。

【請求項 18】

前記チャネル領域の幅は、前記ソースの幅及び前記ゲートの幅に基づいて決定される、請求項 12 に記載の電界効果トランジスタ製造方法。

10

【請求項 19】

前記チャネル領域の幅は、前記電界効果トランジスタに対するテラヘルツ波の印加にตอบสนองして生成される電荷密度分布の長さを超過する長さである、請求項 12 に記載の電界効果トランジスタ製造方法。

【請求項 20】

前記ドレインの幅は、前記第 1 性能因子に基づいて決定され、

前記チャネル領域の幅は、前記第 1 性能因子とは独立的に前記第 2 性能因子のみによって決定されている、請求項 12 に記載の電界効果トランジスタ製造方法。

【請求項 21】

前記ゲートを形成するステップは、前記シリコン基板に垂直な方向から見ると、前記ゲートを前記ソースと一部オーバーラップされるように形成するステップを含む、請求項 12 に記載の電界効果トランジスタ製造方法。

20

【請求項 22】

前記ゲートを形成するステップは、前記シリコン基板に垂直な方向から見ると、前記ゲートを前記ドレインと一部オーバーラップされるように形成するステップを含む、請求項 12 に記載の電界効果トランジスタ製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

以下の開示は、独立的な性能因子を有するテラヘルツ波を検出するための一体型電界効果トランジスタ - アンテナ融合素子に関する。

30

【背景技術】

【0002】

テラヘルツ波 (terahertz waves) のミリメートル (sub-millimeter) 波長に比べて極めて小さい電界効果トランジスタのチャネル面積により、テラヘルツ波を受信するための入力端に相対的に大きいサイズのアンテナが求められる。このような場合、電界効果トランジスタとアンテナとのサイズの差による特性差が発生することから、電界効果トランジスタとアンテナの構造考案が求められている。

【0003】

電界効果トランジスタ基盤のテラヘルツ (THz) 検出器の場合、電界効果トランジスタの 3 つの接続端子 (ソース、ドレイン、ゲート) のうちゲートにおいて交流信号であるテラヘルツ波を受信する。また、電界効果トランジスタ基盤テラヘルツ検出器は、ソースとドレインとの間の下部半導体チャネル領域 (channel region) に電荷の非対称を誘導し、非対称的な電荷分布によって出力端子であるドレインの直流電圧に基づいてテラヘルツ波の信号を検出することができる。

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明の目的は、独立的な性能因子を有するテラヘルツ波を検出するための一体型電界効果トランジスタ - アンテナ融合素子を提供することにある。

50

【課題を解決するための手段】

【0005】

一実施形態に係るゲートをアンテナとして活用するテラヘルツ波検出用電界効果トランジスタは、ソース及び前記ソースを取り囲む形態のチャンネル領域の外側に形成されたドレインを含むシリコン基板と、前記シリコン基板の表面上に形成される誘電層の上段において、前記シリコン基板と離隔して前記チャンネル領域に対応して形成されているゲートとを含み、前記ドレインは、前記電界効果トランジスタのテラヘルツ波の受信率に関する第1性能因子に基づいて決定された幅を有し、前記チャンネル領域は、前記電界効果トランジスタによって受信されるテラヘルツ波の検出に関する第2性能因子に基づいて決定された幅を有する。

10

【0006】

前記シリコン基板に垂直な方向から見ると、前記ソースは円形であり、前記チャンネル領域はリング状であり、前記ドレインはリング状であってもよい。

前記ゲートは、前記シリコン基板に垂直な方向から見ると、前記チャンネル領域を取り囲むように形成されることができる。

【0007】

前記ソースの中心と前記チャンネル領域の中心は互いに離隔してもよい。

前記チャンネル領域の幅は、前記ソースから前記ドレインまでの最短距離と同じ長さであってもよい。

【0008】

前記ドレインの幅は、前記電界効果トランジスタのターゲットテラヘルツ波に対応するターゲット波長、前記ターゲット波長の $1/2$ 、及び前記ターゲット波長の $1/4$ のうち1つに対応する長さであってもよい。

20

【0009】

前記チャンネル領域の幅は、前記ソースの幅及び前記ゲートの幅に基づいて決定されることができる。

前記チャンネル領域の幅は、前記電界効果トランジスタに対するテラヘルツ波の印加にตอบสนองして生成される電荷密度分布の長さを超過する長さであってもよい。

【0010】

前記ドレインの幅は、前記第1性能因子に基づいて決定され、前記チャンネル領域の幅は、前記第1性能因子とは独立的に前記第2性能因子のみによって決定されることができる。

30

【0011】

前記ゲートは、前記シリコン基板に垂直な方向から見ると、前記ソースと一部オーバーラップされることができる。

前記ゲートは、前記シリコン基板に垂直な方向から見ると、前記ドレインと一部オーバーラップされることができる。

【0012】

ゲートをアンテナとして活用するテラヘルツ波検出用電界効果トランジスタの製造方法は、シリコン基板の一部をドーピングしてソースを形成し、前記ソースを取り囲む形態のチャンネル領域の外側をドーピングしてドレインを、前記電界効果トランジスタのテラヘルツ波の受信率に関する第1性能因子に基づいて決定された幅で形成するステップと、前記シリコン基板の表面上に形成される誘電層の上段で、前記シリコン基板と離隔して前記チャンネル領域に対応するゲートを形成するステップとを含み、前記チャンネル領域は、前記電界効果トランジスタによって受信されるテラヘルツ波の検出に関する第2性能因子に基づいて決定されている幅を有する。

40

【0013】

前記シリコン基板に垂直な方向から見ると、前記ソースは円形であり、前記チャンネル領域はリング状であり、前記ドレインはリング状であってもよい。

前記ゲートを形成するステップは、前記シリコン基板に垂直な方向から見ると、前記チャンネル領域を取り囲むように前記ゲートを形成するステップを含むことができる。

50

【 0 0 1 4 】

前記ドレインを形成するステップは、前記ソースの中心と前記チャネル領域の中心は互いに離隔するように形成しているステップを含むことができる。

前記チャネル領域の幅は、前記ソースから前記ドレインまでの最短距離と同じ長さであってもよい。

【 0 0 1 5 】

ドレインの幅は、前記電界効果トランジスタのターゲットテラヘルツ波に対応するターゲット波長、前記ターゲット波長の $1/2$ 、及び前記ターゲット波長の $1/4$ のうち 1 つに対応する長さであってもよい。

【 0 0 1 6 】

前記チャネル領域の幅は、前記ソースの幅及び前記ゲートの幅に基づいて決定されることができる。

前記チャネル領域の幅は、前記電界効果トランジスタに対するテラヘルツ波の印加にตอบสนองして生成される電荷密度分布の長さを超過する長さであってもよい。

【 0 0 1 7 】

前記ドレインの幅は、前記第 1 性能因子に基づいて決定され、前記チャネル領域の幅は、前記第 1 性能因子とは独立的に前記第 2 性能因子のみによって決定されることができる。

【 0 0 1 8 】

前記ゲートを形成するステップは、前記シリコン基板に垂直な方向から見ると、前記ゲートを前記ソースと一部オーバーラップされるように形成するステップを含むことができる。

【 0 0 1 9 】

前記ゲートを形成するステップは、前記シリコン基板に垂直な方向から見ると、前記ゲートを前記ドレインと一部オーバーラップされるように形成するステップを含むことができる。

s の幅が第 1 性能因子に基づいて決定され、チャネル領域の幅は、第 1 性能因子とは独立的に第 2 性能因子のみによって決定されることができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 0 】

【 図 1 】一実施形態に係るメタルゲートをアンテナとして活用するテラヘルツ波検出用電界効果トランジスタの側面図である。

【 図 2 】一実施形態に係る電界効果トランジスタの側面図である。

【 図 3 】一実施形態に係る電界効果トランジスタの平面図である。

【 図 4 】一実施形態に係る電界効果トランジスタが入射されるテラヘルツ波を直流電圧で検出する過程を説明する。

【 図 5 】一実施形態に係る電界効果トランジスタを製造する方法に関して説明する。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 1 】

実施形態に対する特定の構造的又は機能的な説明は単なる例示のための目的として開示されたものであって、様々な形態に変更されることができる。したがって、実施形態は特定の開示形態に限定されるものではなく、本明細書の範囲は技術的な思想に含まれる変更、均等物ないし代替物を含む。

【 0 0 2 2 】

第 1 又は第 2 などの用語を複数の構成要素を説明するために用いることがあるが、このような用語は 1 つの構成要素を他の構成要素から区別する目的としてのみ解釈されなければならない。例えば、第 1 構成要素は第 2 構成要素と命名することができ、同様に、第 2 構成要素は第 1 構成要素にも命名することができる。

【 0 0 2 3 】

いずれかの構成要素が他の構成要素に「連結」されているか「接続」されていると言及されたときには、その他の構成要素に直接的に連結されているか又は接続されているが、

10

20

30

40

50

中間に他の構成要素が存在し得るものと理解されなければならない。

【 0 0 2 4 】

単数の表現は、文脈上、明白に異なる意味をもたない限り複数の表現を含む。本明細書において、「含む」又は「有する」等の用語は、明細書上に記載した特徴、数字、ステップ、動作、構成要素、部品又はこれらを組み合わせたものが存在することを示すものであって、1つ又はそれ以上の他の特徴や数字、ステップ、動作、構成要素、部品、又はこれを組み合わせたものなどの存在又は付加の可能性を予め排除しないものとして理解しなければならない。

【 0 0 2 5 】

異なるように定義されない限り、技術的又は科学的な用語を含んで、ここで用いる全ての用語は、本実施形態が属する技術分野で通常の知識を有する者によって一般的に理解されるものと同じ意味を有する。一般的に用いられる予め定義された用語は、関連技術の文脈上で有する意味と一致する意味を有するものと解釈されなければならない。本明細書で明白に定義しない限り、理想的又は過度に形式的な意味として解釈されることはない。

10

【 0 0 2 6 】

また、図面を参照して説明する際に、図面符号に拘わらず同じ構成要素は同じ参照符号を付与し、これに対する重複する説明は省略する。実施形態の説明において関連する公知技術に対する具体的な説明が本発明の要旨を不要に曖昧にすると判断される場合、その詳細な説明は省略する。

【 0 0 2 7 】

20

電界効果トランジスタ基盤のテラヘルツ波検出器は、チャネル内の比較的に低い電子の移動度に応じて非共振モードとして動作する。このような動作原理は、ソースとドレインの電圧差を通したテラヘルツ波の検出のために、ソースとドレインの非対称環境を必要とする。

【 0 0 2 8 】

従来における方法として、付加的な回路レベルのデザインを用いた非対称環境でソースとドレインとの間の電位差による出力電圧を用いてテラヘルツ波を検出した。しかし、従来における方法は、付加構成の要素によるテラヘルツ波検出器システム全体の総ノイズ増加を引き起こす。従来における方法は、テラヘルツ波検出器の性能指標である R_v と NEP の向上のためには適していない。下記の数式 (1) 及び (2) において、テラヘルツ波検出器の性能指標 R_v と NEP を示す。

30

【 0 0 2 9 】

$$R_v = \text{ドレインの出力電圧} / \text{吸収されるテラヘルツ波の電力} \quad (1)$$

$$NEP = \text{テラヘルツ波検出器の全体ノイズ} / R_v \quad (2)$$

即ち、 NEP を低くするために R_v を高めるための方法を使用されながらも、検出器全体のノイズは保持又は減少させなければならない。テラヘルツ波の感度増加のためには、テラヘルツ波を効率よく吸収するためのアンテナ構造と共に、ゲート電界効果によりチャネルの電荷を2次元の形態に集めなければならないが、このような特性のためには、テラヘルツ波を検出するためのソースとドレインの非対称環境が必要である。従来において、ソースとドレインの非対称環境のために電界効果トランジスタ内の構造的な非対称が考案されていたが、高い反応度のために集積されるアンテナの動作効率のための電界効果トランジスタとのマッチングが問題になった。

40

【 0 0 3 0 】

従来におけるテラヘルツ波検出器は、アンテナ、電界効果トランジスタ、及び増幅器が結合され、電界効果トランジスタがマイクロメーター以下のサイズで製作されることから、テラヘルツ波の波長に比べて極めて小さい電界効果トランジスタのチャネル面積により、相対的に大きなサイズのアンテナが必要であった。結局、従来において、大きなサイズのアンテナによる低いインピーダンスのアンテナと、小さなサイズの電界効果トランジスタによる高いインピーダンスの電界効果トランジスタとの間のインピーダンスの不整合により、テラヘルツ波の電力伝達損失が必然的に発生した。これによって、出力電圧がマ

50

イクロボルト (μV) 又はミリボルト (mV) のレベルで極めて小さく発生することから、微小出力電圧を増幅するための数十 dB の大きな利得を有する増幅器回路をテラヘルツ波検出器が必ず含まれることで、検出器システム全体のノイズが増加するという問題が発生した。

【0031】

しかし、一実施形態に係るゲートをアンテナとして活用するテラヘルツ波検出用電界効果トランジスタは、テラヘルツ波を直流出力電圧に変換する電界効果トランジスタとテラヘルツ波を受信するアンテナを一体に融合した構造を有する。一実施形態に係る電界効果トランジスタは、出力電圧を最大化するためのソースとドレインの非対称構造と、ターゲットテラヘルツ波の波長に適切なアンテナ構造を同時に有することができる。ここで、ターゲットテラヘルツ波とは、電界効果トランジスタが検出しようとする波長帯の範囲のテラヘルツ波を示す。一実施形態に係る電界効果トランジスタにおいて、ドレインの幅に応じてテラヘルツ波の受信率に関する第1性能因子が変更され、チャンネル領域の幅に応じてテラヘルツ波の検出に関する第2性能因子が変更される。これによって、一実施形態に係る電界効果トランジスタでは、第1性能因子に基づいて決定された幅を有するドレインでターゲットテラヘルツ波に対する受信率を高めることができる。また、電界効果トランジスタでは、第1性能因子とは独立的に第2性能因子に基づいて決定された幅を有するチャンネル領域により、テラヘルツ波を検出するための出力電圧を最大化することができる。以下は、一実施形態に係るゲートをアンテナとして活用するテラヘルツ波検出用電界効果トランジスタについて詳細に説明する。

【0032】

図1は、一実施形態に係るメタルゲートをアンテナとして活用するテラヘルツ波検出用電界効果トランジスタの側面図である。

一実施形態に係るゲートをアンテナとして活用するテラヘルツ波検出用電界効果トランジスタ100 (以下、「電界効果トランジスタ」) は、シリコン基板110に形成されているソース120、チャンネル領域130、ドレイン140、及びシリコン基板110と離隔して形成されるゲート150を含む。参考として、チャンネル領域130は、ドレインとソースとの間に電荷が移動する通路であるチャンネルが形成される領域を示す。

【0033】

より具体的に、一実施形態に係る電界効果トランジスタ100は、シリコン基板110の一部がドーピングされて生成されたソース120を含む。電界効果トランジスタ100をシリコン基板110に垂直な方向から見ると、ソース120は円形であってもよい。

【0034】

電界効果トランジスタ100は、ソース120を取り囲む形態のチャンネル領域130を含む。電界効果トランジスタ100をシリコン基板110に垂直な方向から見ると、チャンネル領域130は、リング状 (ring form) であってもよい。チャンネル領域は、電界効果トランジスタ100が受信したテラヘルツ波の検出に関する第2性能因子に基づいて決定された幅を有してもよい。

【0035】

電界効果トランジスタ100は、チャンネル領域130の外側がドーピングされて生成されたドレイン140を含む。電界効果トランジスタ100をシリコン基板110に垂直な方向から見ると、ドレイン140はリング状であってもよい。ドレイン140は、電界効果トランジスタ100のテラヘルツ波の受信率に関する第1性能因子に基づいて決定された幅を有してもよい。

【0036】

電界効果トランジスタ100は、ソース120、チャンネル領域130、及びドレイン140の上段に形成された誘電層 (図示せず) を含んでもよい。

電界効果トランジスタ100は、シリコン基板110の表面上に形成されている誘電層の上段で、シリコン基板110と離隔しチャンネル領域130に対応して配置されているゲート150を含む。ゲート150は、シリコン基板110に垂直な方向から見ると、チ

ヤネル領域 130 を取り囲むよう形成されてもよい。さらに、シリコン基板 110 に垂直な方向から見ると、ゲート 150 は、ソース 120 と一部オーバーラップされるように形成されてもよく、ドレイン 140 の一部とオーバーラップされるように形成されてもよい。

【0037】

一実施形態に係る電界効果トランジスタ 100 は、テラヘルツ電磁波 160 をゲート 150 を介して受信する。電界効果トランジスタ 100 のソース 120 とドレイン 140 との間で発生する電流及び電圧でテラヘルツ電磁波 160 の信号を検出することができる。テラヘルツ電磁波信号は、0.1 テラヘルツ (THz) ~ 10 テラヘルツの間の周波数を有する電磁波信号として、テラヘルツ波とも示すことができる。

10

【0038】

図 2 は、一実施形態に係る電界効果トランジスタの側面図である。

電界効果トランジスタ 200 は、シリコン基板 210、シリコン基板 210 でドーピングにより形成されるソース 220、ソースを取り囲む形態のチャネル領域 230、チャネル領域 230 の外側でドーピングにより形成されるドレイン 240、シリコン基板 210 の表面上に形成される誘電層 260、誘電層 260 の上段でチャネル領域 230 に対応して形成されるゲート 250 を含む。

【0039】

図 3 は、一実施形態に係る電界効果トランジスタの平面図である。

図 3 は、図 1 に示された電界効果トランジスタ 100 をシリコン基板に垂直な方向から見た平面図である。図 1 を参照すると、電界効果トランジスタ 300 は、ソース 320 とソース 320 を取り囲むチャネル領域 330、及びチャネル領域 330 の外側に形成されているドレイン 340 を含んで構成されている。電界効果トランジスタ 300 は、シリコン基板に垂直な方向から見ると、チャネル領域 330 を取り囲むよう形成されたゲート (図示せず) をさらに含んで構成してもよい。

20

【0040】

シリコン基板に垂直な方向から見ると、ソース 320 は円形であってもよく、チャネル領域 330、ゲート (図示せず)、ドレイン 340 は環状であってもよい。シリコン基板に垂直な方向から見ると、チャネル領域 330 及びゲートの周縁は円形であってもよく、ドレイン 340 の周縁も円形であってもよい。

30

【0041】

一実施形態に係る電界効果トランジスタ 300 において、ソース 320 の中心 321 とチャネル領域 330 の中心は偏心 (eccentric) になり得る。言い換えれば、シリコン基板に垂直な方向から見ると、電界効果トランジスタ 300 でソース 320 の中心 321 とチャネル領域 330 の中心 331 は互いに離隔してもよい。電界効果トランジスタ 300 は、ソース 320 の中心 321 とチャネル領域 330 の中心 331 が互いに離隔することで、ソースとドレインの非対称性が最大化される。ここで、チャネル領域 330 の中心 331 とは、チャネル領域 330 の周縁に対応する円の中心を示す。

【0042】

図 3 を参照すると、一実施形態に係る電界効果トランジスタ 300 において、ソース 320 の幅 d_s はソース 320 の周縁に対応する円の直径 d_s を示す。同様に、ゲートの幅はゲートの周縁に対応する円の直径である d_g を示す。ドレイン 340 の幅は、ドレインの周縁に対応する円の直径である d_d を示す。電界効果トランジスタ 300 において、チャネル領域 330 の幅はソース 320 からドレイン 340 までの最短距離と同じ長さ L_g を示す。例えば、ソース 320 からドレイン 340 までの最長距離を L とすれば、 d_g は d_s 、 L_g 、 L を合わせた値と同一である。

40

【0043】

一実施形態に係る電界効果トランジスタ 300 は、ゲートをアンテナとして活用してテラヘルツ波を受信するため、別途のアンテナ構造がなくても電界効果トランジスタの自主的にアンテナの効果を期待することができる。また、一実施形態に係る電界効果トランジ

50

スタ３００は、ソース３２０とドレイン３４０の非対称構造を用いて、ソース３２０とドレイン３４０との間の電位差による出力電圧に基づいて受信されたテラヘルツ波を検出することができる。一実施形態に係る電界効果トランジスタ３００のドレイン３４０は、電界効果トランジスタ３００のテラヘルツ波の受信率に関する第１性能因子に基づいて決定された幅を有し、チャンネル領域３３０は、電界効果トランジスタ３００によって受信されるテラヘルツ波の検出に関する第２性能因子に基づいて決定された幅をそれぞれ有することができる。

【００４４】

先ず、第１性能因子は、電界効果トランジスタ３００のテラヘルツ波の受信率に関するアンテナ性能因子である。一実施形態に係る電界効果トランジスタ３００のドレイン３４０の幅は、第１性能因子によって決定されてもよい。電界効果トランジスタ３００が検出しようとするターゲットテラヘルツ波に対する受信率は、第１性能因子と関連しており、第１性能因子が高いほど電界効果トランジスタ３００が検出をターゲットにするテラヘルツ波に対する受信率が高い。一実施形態によれば、ドレイン３４０の幅 d_d は、電界効果トランジスタのターゲットテラヘルツ波に対応するターゲット波長（ $target\ wavelength$ ）、ターゲット波長の $1/2$ 、及びターゲット波長の $1/4$ のうち１つに対応する長さであってもよい。テラヘルツ波は $0.1\ THz \sim 10\ THz$ の周波数範囲の電磁波を示し、これは $3\ mm \sim 30\ \mu m$ の波長帯の範囲を示す。一実施形態に係る電界効果トランジスタ３００は、ドレイン３４０の幅によりターゲットテラヘルツ波の受信率が変わり、ターゲットテラヘルツ波に対応するターゲット波長がドレイン３４０の幅長と整数倍の関係（例えば、１倍、２倍、４倍など）にある場合は、ターゲットテラヘルツ波に対する受信率が高い。さらに、一実施形態に係る電界効果トランジスタ３００において、ドレイン３４０の幅はテラヘルツ波の受信率に関する第１性能因子に基づいて決定され、チャンネル領域の幅 L_g は、テラヘルツ波の受信率とは独立的である。

【００４５】

これは、テラヘルツ波の比較的に大きい波長でよりゲートとソースはアンテナ性能に微々たる影響を有し、テラヘルツ波が印加されれば、ゲート、ソース、及びドレインが１つに一体化された構造として動作することから、アンテナの性能因子である第１性能因子によりドレインの幅が決定され、チャンネル領域の幅は、アンテナの性能に及ぼす影響がほとんどない。

【００４６】

第２性能因子は、電界効果トランジスタ３００によって受信されるテラヘルツ波の検出に関する電界効果トランジスタ３００自体の性能因子である。一実施形態に係る電界効果トランジスタ３００のチャンネル領域３３０の幅 L_g は、第２性能因子によって決定されてもよい。第２性能因子が高いほど、ターゲットテラヘルツ波に対する検出感度が高い。一実施形態に係る電界効果トランジスタ３００において、チャンネル領域の幅 L_g は、ソースの幅 d_s 及びゲートの幅 d_g に基づいて決定されてもよい。例えば、電界効果トランジスタ３００において、ソース３２０の中心３２１とチャンネル領域３３０の中心３３１との間の距離及びゲートの幅 d_g が予め決定されている状態において、ソースの幅 d_s が減少するほどチャンネル領域の幅 L_g は増加する。異なる例として、ソース３２０の中心３２１とチャンネル領域３３０の中心３３１との間の距離及びソースの幅 d_s が予め決定されている状態において、ゲートの幅 d_g が増加するほどチャンネル領域の幅 L_g は増加する。言い換えれば、一実施形態に係る電界効果トランジスタ３００においては、テラヘルツ波の検出に関する電界効果トランジスタ３００自体の性能因子である第２性能因子によりチャンネル領域の幅 L_g が決定され、チャンネル領域の幅 L_g は、ソースの幅 d_s 及びゲートの幅 d_g に基づいて決定されることができ。一実施形態に係る電界効果トランジスタ３００において、チャンネル領域３３０の幅は、テラヘルツ波の検出に関する第２性能因子に基づいて決定され、ドレイン３４０の幅 d_d は、テラヘルツ波を検出するための出力電圧とは独立的である。以下では、一実施形態に係る電界効果トランジスタが受信されたテラヘルツ波を直流電圧で検出する過程をより詳細に説明する。

【 0 0 4 7 】

図 4 は、一実施形態に係る電界効果トランジスタ 4 0 0 が入射されるテラヘルツ波を直流電圧で検出する過程を説明する。

一実施形態に係る電界効果トランジスタ 4 0 0 は、シリコン基板 4 1 0、ソース 4 2 0、チャンネル領域 4 3 0、ドレイン 4 4 0、ゲート 4 5 0 を含み、テラヘルツ波 4 6 0 がゲート 4 5 0 に印加されてもよい。

【 0 0 4 8 】

電界効果トランジスタ 4 0 0 に入射される交流信号であるテラヘルツ波 4 6 0 を直流電圧で検出するために、電界効果トランジスタ 4 0 0 のチャンネル領域 4 3 0 内に 2 次元形態の電荷非対称が必要である。テラヘルツ波 4 6 0 が入射されるゲート 4 5 0 から見たソース 4 2 0 とドレイン 4 4 0 の非対称条件のために、ソース 4 2 0 とドレイン 4 4 0 との間の構造的な非対称条件が求められる。一実施形態に係る電界効果トランジスタ 4 0 0 において、チャンネル領域 4 3 0 の幅 L_g を介してソース 4 2 0 とドレイン 4 4 0 との間の非対称効果を最大化することができる。

【 0 0 4 9 】

図 3 を再度参照すると、電界効果トランジスタ 3 0 0 において、シリコン基板に垂直な方向から見ると、ソース 3 2 0 の仮想の中心 3 2 1 とチャンネル領域 3 3 0 の仮想の中心 3 3 1 が互いに離隔し、ソース 3 2 0 とドレイン 3 4 0 との間の構造的な非対称条件が満足される。電界効果トランジスタ 3 0 0 において、 L の値と L_g の値が互いに異なってもよい。即ち、電界効果トランジスタ 3 0 0 は、ソース 3 2 0 からドレイン 3 4 0 に向かう電荷の到達距離が L_g から L まで変わる非対称性の構造を有し、このような非対称性により電界効果トランジスタ 3 0 0 のゲートとソース 3 2 0 との間の電界が強化される。言い換えれば、電界効果トランジスタ 3 0 0 は、ソース 3 2 0 の仮想の中心 3 2 1 とチャンネル領域 3 3 0 の仮想の中心が偏心されるソース 3 2 0 及びドレイン 3 4 0 の非対称性の構造を通じて、テラヘルツ波を直流電圧で検出することができる。

【 0 0 5 0 】

より具体的に、図 4 を再度参照すると、テラヘルツ波 4 6 0 が電界効果トランジスタ 4 0 0 に印加される場合、電荷がチャンネル領域 4 3 0 に発生し、ソース 4 2 0 と隣接している部分に電荷が重点的に分布される。ここで、ソース 4 2 0 と隣接している部分にテラヘルツ波 4 6 0 により電荷が重点的に分布し、ドレイン 4 4 0 に隣接している部分では電荷が相対的に少なく分布しているため、ソース 4 2 0 とドレイン 4 4 0 との間の電荷非対称が発生する。このような電荷非対称を通じて電界効果トランジスタ 4 0 0 は、ソース 4 2 0 とドレイン 4 4 0 との間の電圧差によるテラヘルツ波 4 6 0 の検出が可能になる。ここで、電界効果トランジスタ 4 0 0 において、電荷非対称を実現するためには、チャンネル領域 4 3 0 の幅が、電荷の分布している領域に対応する電荷密度分布の長さ 4 3 1 を超過しなければならない。言い換えれば、チャンネル領域 4 3 0 の幅は、電界効果トランジスタ 4 0 0 に対するテラヘルツ波 4 6 0 の印加にตอบสนองして生成される電荷密度分布の長さ 4 3 1 を超過する長さである。チャンネル領域の幅 L_g が電荷密度分布の長さ 4 3 1 を超過することは、電界効果トランジスタ 4 0 0 がソース 4 2 0 とドレイン 4 4 0 との間の電位差によりテラヘルツ波 4 6 0 を検出するための境界条件である。しかし、チャンネル領域の幅が大きくなるほど、電界効果トランジスタ 4 0 0 のチャンネル領域の抵抗が増加することから、チャンネル領域は適切な幅を有しなければならない。

【 0 0 5 1 】

まとめると、電界効果トランジスタ 4 0 0 において、ドレインの幅は、電界効果トランジスタ 4 0 0 のテラヘルツ波 4 6 0 の受信率に関する第 1 性能因子に基づいて決定され、チャンネル領域 4 3 0 の幅は、第 1 性能因子とは独立的に、電界効果トランジスタ 4 0 0 によって受信されるテラヘルツ波 4 6 0 の検出に関する第 2 性能因子のみによって決定されることができる。

【 0 0 5 2 】

一実施形態に係る電界効果トランジスタは、信号受信部及び増幅器などの追加的な性能

10

20

30

40

50

改善のための周辺回路部品との集積が可能であり、リアルタイム/大面積のための多重ピクセル構成においても簡単なトランジスタ-アンテナの一体型構造を提供することで、低コスト及び商用級性能のテラヘルツイメージングシステムを可能にする。

【 0 0 5 3 】

図 5 は、一実施形態に係る電界効果トランジスタを製造する方法に関して説明する。

ステップ S 5 1 0 において、一実施形態に係るゲートをアンテナとして活用するテラヘルツ波検出用電界効果トランジスタの製造方法（以下、「電界効果トランジスタの製造方法」）は、シリコン基板の一部をドーピングしてソースを形成する。

【 0 0 5 4 】

ステップ S 5 2 0 において、電界効果トランジスタの製造方法は、ソースを取り囲む形態のチャンネル領域の外側をドーピングしてドレインを、電界効果トランジスタのテラヘルツ波の受信率に関する第 1 性能因子に基づいて決定された幅に形成する。ここで、チャンネル領域は、電界効果トランジスタによって受信されるテラヘルツ波の検出に関する第 2 性能因子に基づいて決定された幅を有してもよい。ここで、ソースの中心とチャンネル領域の中心が互いに離隔するようにドレインを形成してもよい。ここで、ドレインの幅は第 1 性能因子に基づいて決定され、チャンネル領域の幅は第 1 性能因子とは独立的に、第 2 性能因子のみによって決定されてもよい。

10

【 0 0 5 5 】

ステップ S 5 3 0 において、電界効果トランジスタの製造方法は、シリコン基板の表面上に形成される誘電層の上段において、シリコン基板と離隔してチャンネル領域に対応するゲートを形成する。シリコン基板に垂直な方向から見るとき、チャンネル領域を取り囲むようにゲートを形成してもよい。また、シリコン基板に垂直な方向から見るとき、ゲートをソース及びドレインと一部オーバーラップされるように形成してもよい。

20

【 0 0 5 6 】

さらに、一実施形態に係る電界効果トランジスタの製造方法は、ドレインの幅が電界効果トランジスタのターゲットテラヘルツ波に対応するターゲット波長、ターゲット波長の $1/2$ 、及びターゲット波長の $1/4$ のうち 1 つに対応する長さになるようドレインをドーピングしてもよい。一実施形態に係る他の電界効果トランジスタの製造方法は、チャンネル領域の幅が電界効果トランジスタに対するテラヘルツ波の印加に応答して生成される電荷密度分布の長さを超過する長さになるようドレインをドーピングすることができる。

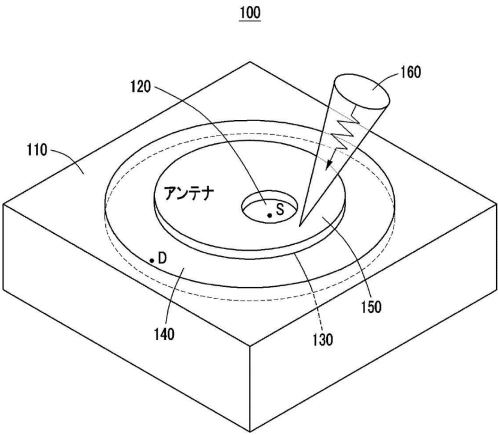
30

40

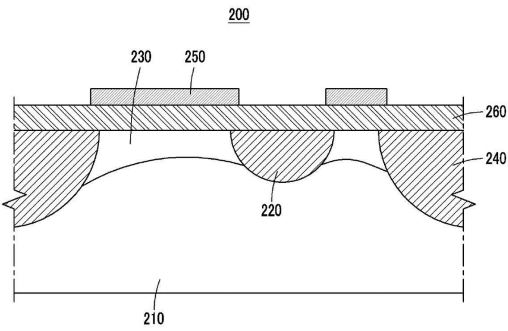
50

【図面】

【図 1】

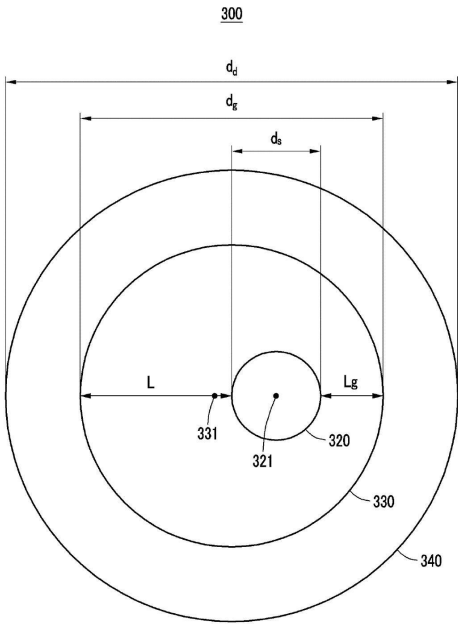


【図 2】

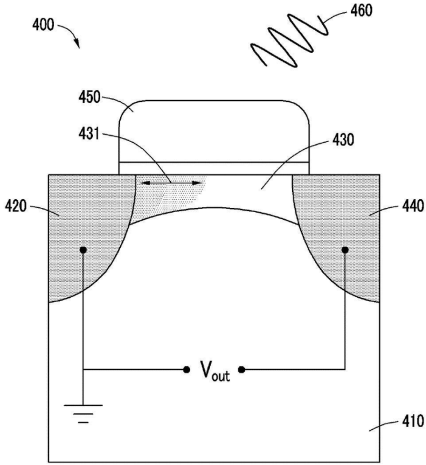


10

【図 3】



【図 4】



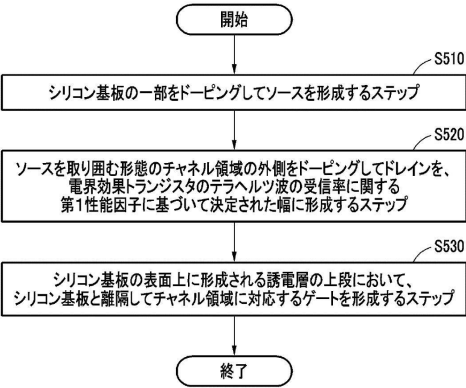
20

30

40

50

【図 5】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- ユ - グン オニャン - ウップ ユニスト - ギル 5 0
(72)発明者 リュ ミン ウ
大韓民国 4 4 9 1 9 ウルサン ウルチュ - グン オニャン - ウップ ユニスト - ギル 5 0
(72)発明者 チャン イ サン
大韓民国 4 4 9 1 9 ウルサン ウルチュ - グン オニャン - ウップ ユニスト - ギル 5 0
(72)発明者 バテル ラメシュ
大韓民国 4 4 9 1 9 ウルサン ウルチュ - グン オニャン - ウップ ユニスト - ギル 5 0
(72)発明者 アン サン ヒョ
大韓民国 4 4 9 1 9 ウルサン ウルチュ - グン オニャン - ウップ ユニスト - ギル 5 0
審査官 岩本 勉
(56)参考文献 韓国公開特許第 1 0 - 2 0 1 7 - 0 0 8 0 0 1 0 (K R , A)
韓国公開特許第 1 0 - 2 0 1 6 - 0 0 9 1 0 0 8 (K R , A)
特表 2 0 1 8 - 5 0 0 7 7 2 (J P , A)
特表 2 0 1 8 - 5 0 9 0 0 4 (J P , A)
(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
H 0 1 L 2 9 / 7 8
H 0 1 Q 2 3 / 0 0