

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2018-536285
(P2018-536285A)

(43) 公表日 平成30年12月6日(2018.12.6)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/338 (2006.01)	HO 1 L 29/80	5 F 1 0 2
HO 1 L 29/778 (2006.01)		
HO 1 L 29/812 (2006.01)		

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2018-522143 (P2018-522143)
 (86) (22) 出願日 平成28年10月27日 (2016.10.27)
 (85) 翻訳文提出日 平成30年5月21日 (2018.5.21)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2016/075971
 (87) 国際公開番号 W02017/072249
 (87) 国際公開日 平成29年5月4日 (2017.5.4)
 (31) 優先権主張番号 15/02296
 (32) 優先日 平成27年10月30日 (2015.10.30)
 (33) 優先権主張国 フランス (FR)

(71) 出願人 511148123
 タレス
 フランス国、92400・クルブボア、エ
 スプラネード・ノール、プラス・デ・コ
 ロル、トゥール・カルブ・ディアン
 (71) 出願人 311015001
 コミサリヤ・ア・レネルジ・アトミック・エ
 ・オ・エネルジ・アルテルナティブ
 フランス国、エフー75015・パリ、リ
 ユ・ルブラン・25、パティマン “ル・ポ
 ナン・デ”
 (74) 代理人 110001173
 特許業務法人川口国際特許事務所

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 最適化された性能及び利得を有する電界効果トランジスタ

(57) 【要約】

発明は、特に、バッファ層(12)を2つの部分(12a; 12b)に分割する特定の厚さの思慮深く載置された第1の副層(16)を備え、第3の半導体(Mat3)を備え、その結果、バッファ層の半導体及び第3の半導体(Mat3)の圧電及び自発分極係数の間の差は、バッファ層の第1の部分(12a)と第1の副層(16)との間の第1の界面(17)において、二次元ガス(9)がチャンネルに限定されるように、z軸に沿って向けられる電界を生成する第1の固定表面電荷を誘導する半導体スタックを備えるトランジスタに関する。

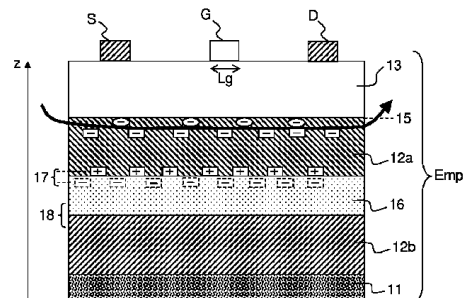


FIG.10

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

z 軸に沿ったスタック (Emp) を備える電界効果トランジスタであって、

- 第 1 の半導体 (Mat 1) を備えるバリア層 (13) と、
- 前記バリア層 (13) とバッファ層 (12) との間のヘテロ接合 (15) と、
- 前記 z 軸と垂直に位置する xy 平面内及び前記ヘテロ接合 (15) の近傍に位置するチャンネルに対して制限される二次元ガス (9) と、
- $Al_x Ga_{(1-x)} N$ を備える第 2 の半導体 (Mat 2) を備える前記バッファ層 (12) であって、x は前記バッファ層 (12) のアルミニウム含有量である、前記バッファ層 (12) と、を備え、

前記スタックは、更に、前記バッファ層 (12) を 2 つの部分 (12a ; 12b) に分割する第 1 の副層 (16) を備え、 $Al_{x_1} Ga_{(1-x_1)} N$ を備える第 3 の半導体 (Mat 3) を備え、 x_1 は $x + 15\%$ よりも高く、 x_1 は前記副層 (16) の前記アルミニウム含有量であり、その結果、前記第 2 の半導体 (Mat 2) 及び前記第 3 の半導体 (Mat 3) の圧電及び自発分極係数の間の差は、前記バッファ層の前記第 1 の部分 (12a) と前記第 1 の副層 (16) との間の第 1 の界面 (17) において、前記二次元ガス (9) が前記チャンネルに限定されるように、前記 z 軸に沿って向けられ、前記第 1 の界面 (17) に向かう電界を生成する第 1 の固定表面電荷 (Q1) を誘導し、前記ヘテロ接合 (15) と、前記バッファ層の前記第 1 の部分 (12a) と前記第 1 の副層 (16) との間に位置する前記第 1 の界面 (17) との間の距離は、前記トランジスタの前記スタックの方向 Oz と垂直な方向 Ox における前記ゲートの長さ (Lg) の 3 分の 1 と前記ゲート長さ (Lg) の 2 倍との間を備えることを特徴とする、

電界効果トランジスタ。

【請求項 2】

前記二次元ガス (9) は電子ガスであり、前記界面 (17) における前記固定表面電荷は負である、請求項 1 に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 3】

前記第 2 の半導体 (Mat 2) は $Al_x Ga_{(1-x)} N$ であり、 $x = 0\%$ である、請求項 1 又は 2 のいずれか一項に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 4】

前記 z 軸に沿った前記第 1 の副層 (16) の厚さ (t1) は 20nm よりも小さい、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 5】

前記バッファ層 (12) は、更に、前記第 1 の副層 (16) と前記バッファ層の前記第 2 の部分 (12b) との間に位置する第 2 の副層 (19) を備え、前記第 2 の副層 (19) は $Al_{x_2} Ga_{(1-x_2)} N$ を備え、 x_2 は $x + 15\%$ よりも低く、前記第 1 の副層 (16) と前記第 2 の副層 (19) との間に形成される前記第 2 の界面 (18) における第 2 の固定表面電荷 (Q2) は正であり、絶対値において、前記第 1 の界面 (17) の前記第 1 の固定表面電荷よりも低い、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 6】

前記スタックの前記方向における前記第 2 の副層 (19) の前記厚さは 100nm 以上である、請求項 5 に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 7】

前記第 2 の $AlGa N$ 副層 (19) は、前記スタック (Emp) の前記方向において増加し、且つ、前記ヘテロ接合 (15) に向かうアルミニウム濃度勾配を有し、 x_2 は $0 \sim 15\%$ の間を備える、請求項 5 又は 6 に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 8】

前記第 2 の副層 (19) は、更に、前記第 2 の副層 (19) の前記アルミニウム濃度勾配によって誘導される n 型ドーピングを補うようにアクセプタ型不純物 (A) を備える、

10

20

30

40

50

請求項 5 ~ 7 のいずれか一項に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 9】

前記第 2 の副層 (1 9) に導入される前記アクセプタ型不純物 (A) は、炭素又は鉄、ベリリウム又はマグネシウムである、請求項 8 に記載の電界効果トランジスタ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高電子移動度電界効果トランジスタ (H E M T) に関する。

【0002】

本発明は、特に、電力及び低雑音増幅器として、スイッチとして、又は発振器として用いられ、且つ、通常 1 M H z ~ 1 0 0 G H z の間からなる周波数範囲を扱う H E M T が製作されるスタックに関する。

10

【背景技術】

【0003】

図 1 は、従来の基本的 H E M T システムの構造の断面を $O x z$ 平面で略図的に示しており、前記システムは基板 1 1 上に作製されている。従来、半導体又は絶縁基板 1 1 (例えば、シリコン (S i)、炭化ケイ素 (S i C)、又はサファイア (A l ₂ O ₃) を備える) が用いられ、その上に $O x y$ 平面に延在する少なくとも 2 つの半導体層のスタック E m p が z 軸に沿って作製される。

【0004】

バッファ層と呼ばれる第 1 の層 1 2 は、大きなバンドギャップを有し、ワイドバンドギャップ半導体と言われ、幾つかのかかる半導体は二元化合物 (G a N 等) 又は三元 I I I - 窒化合物 (A l G a N、又はより正確には A l _x G a _{1-x} N 等) を備え、これらは、また、I I I - N 化合物とも称される。

20

【0005】

バリア層 1 3 と呼ばれる第 2 の層は、バッファ層 1 2 のものよりも大きいバンドギャップを有している。この層は、A l、G a、I n、又は B をベースとした四元、三元、又は二元 I I I - 窒化 (I I I - N) 化合物ベースの半導体を備えている。

【0006】

例えば、G a N からできたバッファ層 1 2 と共に、バリア層 1 3 は A l _x G a _{1-x} N 又は I n _{1-x} A l _x N、又は I n _{1-x} A l _x N / A l N 又は A l _x G a _{1-x} N / A l N 配列を備えている。アルミニウム含有量 x に応じて、A l _x G a _{1-x} N 及び I n _{1-x} A l _x N のバンドギャップの大きさは、それぞれ、3 . 4 e V (G a N) から 6 . 2 e V (A l N) 及び 0 . 7 e V (I n N) から 6 . 2 e V に変化する。

30

【0007】

バリア層 1 3 の厚さは、通常、5 n m ~ 4 0 n m の間を備え、バッファ層 1 2 の厚さは、通常、0 . 2 μ m ~ 3 μ m の間を備えている。

【0008】

追加層が、スタックの表面上又はバッファ層 1 2 とバリア層 1 3 との間のどちらか一方に存在していてもよい。

40

【0009】

バッファ層 1 2 及びバリア層 1 3 は、従来、有機金属気相エピタキシー (M O V P E) 又は分子線エピタキシー (M B E) によって作製されている。例として、G a N をベースとするバッファ層 1 2 と A l G a N 又は I n A l N をベースとする、及びより正確には、A l _x G a _{1-x} N 又は I n _z A l _{1-z} N をベースとするバリア層 1 3 について言及してもよく、 x は通常 1 5 % ~ 3 5 % の間を備え、 z は通常 1 5 % ~ 2 5 % の間を備える。

【0010】

バッファ層 1 2 とバリア層 1 3 との間の接合部は、 $O x y$ 平面にも延在するヘテロ接合 1 5 を形成している。座標系 $O x y z$ の原点 O はこの平面内に位置するよう選択される。

【0011】

50

HEMTは、従来、バリア層13の上側14上に堆積されるソースS、ドレインD、及びゲートGを備えている。

【0012】

ゲートGは、ソースSとドレインDとの間に堆積され、トランジスタが制御されることを可能にしている。

【0013】

ソースSとドレインDとの間の電流は、ゲートG（ショットキー又はMISタイプの、MISは金属/絶縁体/半導体の略）の静電作用により、ヘテロ接合15の近傍に限定される二次元電子ガス9（2DEG）に関して変調される。ゲートGとソースSとの間に印加される電圧 V_{GS} はトランジスタを流れる電流を制御する。

10

【0014】

これらの電子は Oxy 平面において可動であり、通常 $1000\text{ cm}^2/\text{Vs}$ よりも大きい高電子移動度 μ_e を有している。通常動作において、これらの電子は、それらがヘテロ接合15の近傍の Oxy 平面に形成するポテンシャル井戸に限定されているため、 z 方向に流れることができない。トランジスタのチャンネルと呼ばれるものに限定される電子ガス9は、従って、電流 I_{DS} を搬送することが可能であり、この電流はドレインDとソースSとの間を流れる。従来、電位差 V_{DS} はソースSとドレインDとの間に印加され、通常ソースSが接地に接続され、電流 I_{DS} の値はゲートGとソースSとの間に印加される電圧 V_{GS} の関数である。

【0015】

20

トランジスタの相互コンダクタンス g_m は電流 I_{DS} と電圧 V_{GS} の割合として定義される。言い換えれば、相互コンダクタンスはドレイン電流の変化を定数 V_{DS} におけるゲートのバイアス V_{GS} の関数として表している。

【0016】

トランジスタの利得はその相互コンダクタンスに関連する。利得は相互コンダクタンス g_m に比例して増加し、ゲートGに印加される弱信号がドレインD上でより強い信号に変換されることを可能にしている。

【0017】

図2は、ヘテロ接合15の近傍における電荷分布を示している。III-N族の半導体は電気的陰性が高い。この族の2つの異なる化合物が接触して載置される場合、圧電性の正+又は負-の固定電荷が、図2に示すように、界面に現れる。結果として生じる固定表面電荷は、移動電荷、すなわち、図2のように正である場合に電子を、若しくは、負である場合に正孔を引き寄せる。これは、電圧がドレインDとソースSとの間に印加される場合に電流を生成するこれらの移動電荷 e_m である。

30

【0018】

GaNは、従来の成長条件下で、ドナー型（ n 型）の不純物、通常、窒素空孔をドーパされる半導体である。この種の欠陥は、トランジスタのドレインに印加される電圧が高くなり過ぎる場合、通常 10 V よりも高くなる場合に、且つ、ゲートの長さ L_g が短くなり過ぎる場合、通常 $0.25\text{ }\mu\text{m}$ よりも短くなる場合に、電子がチャンネルに効果的に限定されることを可能にしない。電子は次いでバッファ層12を流れ、これが、

40

- 相互コンダクタンス g_m 、及び従って、トランジスタの利得の低下（図3の範囲1）、
- 伝達曲線の指数領域（図3の範囲2）における閾値下の振れ（ $SS = n(kbT/q) \log(10)$ ）の増加。 mV/decade で表されるこの数量は、10倍毎に電流を増加させるために必要なゲート電圧の変化に対応する。室温で、及び、 $n = 1$ の理想的な場合において、それは10倍当たり 60 mV と等しい。この数量の低下は電流を切り換える構成部品の能力を低下させる。
- 漏れ電流の増加、及び従って、トランジスタの効率の低下（図3の範囲3）の原因となる。

【0019】

無効な閉じ込めは、従って、図3で見取れるかもしれないようなトランジスタの性能

50

への直接的な影響を有する。

【0020】

図3は、電子の良好な及び不十分な閉じ込めを呈するトランジスタのための $\log(I_{DS}) = f(V_{GS})$ のグラフ図である。

【0021】

3つの範囲がその中に定義されてもよい。

- 範囲1は、相互コンダクタンス g_m が定義され、且つ、曲線 $\log(I_{DS}) = f(V_{GS})$ に関連する V_{GS} の関数としての I_{DS} のグラフ図が略直線的な区分を含む。

- 範囲2は、スイッチング用途に優先的に用いられる区域に対応し、特に、トランジスタの伝達特性が定義される区域に対応する。閾値下の振れSSはこの範囲において定義される。

- 範囲3は、漏れ電流が定義されてもよい漸近区域に対応する。

【0022】

図3の曲線31は、チャンネルに対する電子の良好な閉じ込めを呈するトランジスタのための $\log(I_{DS}) = f(V_{GS})$ のグラフ図に対応する。高い定数 V_{DS} 、例えば20Vにおいて、且つ、例えば、 $0.25 \mu\text{m}$ よりも短いゲート長さに対して、曲線31は高い相互コンダクタンス g_m 、室温で 60 mV/decade のその理想値に近似する閾値下の振れSS、及び、通常 $100 \mu\text{A/mm}$ よりも小さい低い漏れ電流を有する。

【0023】

図3の曲線32は、チャンネルに対する電子の不十分な閉じ込めを呈するトランジスタのための $\log(I_{DS}) = f(V_{GS})$ のグラフ図に対応する。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0024】

チャンネルに対する電子の良好な閉じ込めを得るため、並びに、利得、閾値下の振れSS、及び電気効率の観点から良好なトランジスタ性能を得るために、初期のn-ドーピングを補うことが必要である。

【0025】

第1の解決法は、アクセプタ型の不純物を導入することによって、例えば、エピタキシャル成長条件を一部変更することによって、又は、層の成長中にアクセプタ型の不純物を添加することによって、 GaN 又は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ を備えるバッファをp-ドーピングすることである。

【0026】

バッファ層12の全体に導入される不純物密度は、所望のトランジスタ挙動を得るよう最適化される。融和性のある不純物は、主に炭素及び鉄であるが、マグネシウム、ベリリウム、又は亜鉛、若しくは、 GaN においてアクセプタ中心であると公知の任意の不純物であってもよい。通常、 $10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のn型不純物に対するp型不純物の過剰は、閾値下の振れが50Vの最大動作電圧 V_{DS} 及び $0.15 \mu\text{m}$ のゲート長さ L_g に対して 150 mV/decade 未満の値に維持されることを可能にする。しかし、これらの不純物は深準位中心を形成する。

【0027】

表現「深準位中心」は、そのエネルギー準位がn型不純物のための伝導帯の最小から又はp型不純物のための価電子帯の最大から熱活性化エネルギー ($3/2 k_B T$) の2~3倍よりも大きく位置する不純物を指すよう採用される。室温において、熱活性化エネルギーは約 40 meV である。

【0028】

中心は、従って、これらの極値のうちの1つから 100 meV よりも大きく位置する場合に深準位であると考えられ、これはアクセプタ型不純物でドーピングされた GaN の場合である。中心は、トランジスタがバイアスをかけられる場合、負に帯電され、それらが深準位になるにつれて、1メガヘルツよりも高い動作周波数でデチャージされる。これは、導

10

20

30

40

50

電性チャネル内に存在する可動電荷の量を低下させる効果があり、これは電流を低下させ、アクセス抵抗を増加させる。このアプローチの主な欠点は、分散を生じることに加えて、それがトランジスタの効率及びそれが発することができる電力を低減させることであることに続く。性能におけるこの劣化は、動作電圧 V_{DS} が増加するにつれて次第に明白となり、後者は通常、 20V よりも高い。

【0029】

電流崩壊と称される可動電荷におけるこの低下を図4に示す。この例において、 GaN トランジスタのバッファ層は、 $5 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ の値に均一に p -ドーブされている。

【0030】

曲線40は、曲線の取得前にバイアスをかけられなかったトランジスタの、 $V_{GS} = 0\text{V}$ で取った電流/電圧曲線である。

【0031】

曲線41は、曲線の取得前に電圧 $V_{GS} = -6\text{V}$ 及び $V_{DS} = 40\text{V}$ でのバイアスの形態を取る応力を受けた後のトランジスタの、 $V_{GS} = 0\text{V}$ で取った電流/電圧曲線である。

【0032】

曲線41において、 V_{DS} の関数としての I_{DS} の変化が初期曲線40に対して一部変化しており、電流/電圧特性が低下していることが見て取れるであろう。この例において、電流 I_{DS} における、及び従って、有能電力における60%の相対的減少が5Vの電圧 V_{DS} において認められる。

【0033】

第2の解決法は、 GaN でできたチャネルを有する、例えば、図5に示すような合成 $\text{GaN}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ バッファを作製することである。

【0034】

この場合、 $\text{GaN}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 界面50に現れる負の圧電性電荷は、電子がチャネルに限定されることを可能にするポテンシャル障壁を生成する。 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層内の数パーセントのアルミニウム、通常3%~10%は、 $20\text{V} \sim 40\text{V}$ の間を備える最大動作電圧及び $0.25\mu\text{m}$ よりも短いゲート長さに対する電子の良好な閉じ込めを得るために必要である。

【0035】

しかし、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ の熱伝導率は、良好な電子閉じ込めのために必要なアルミニウム含有量に対して3~5の間を備える係数で、 GaN のものよりも低い。

【0036】

トランジスタの熱抵抗は、従って、大幅に低下し(2~3倍)、発せられ得る電力は、この解決法が意図される用途に応じて、1.5~3倍低下する。

【0037】

第1の解決法は、バッファ層12に、まさに適切な量の固定負電荷を導入して、所望の動作電圧及び周波数で良好な伝達特性を達成することにある。電子ガス9に対して電荷の量及び電荷の位置を制御することは、例えば、 GaN でできているバッファの熱伝導率を低下させることなく、且つ、線形性の低下(又は、言い換えれば、分散効果)並びに有能電力及び効率の低下に通じる望ましくないトラッピング効果を生じることなく、チャネルに対する電子の良好な閉じ込めが得られることを可能にする。

【0038】

図6は、この第3の先行技術解決法による高電子移動度電界効果トランジスタ(HEMT)のためのスタック10を示している。スタック10はこの種の構成部品のために従来から用いられる種類の基板11上に作製される。

【0039】

スタック10は z 軸と垂直な xy 平面内に複数の層を備えている。

【0040】

10

20

30

40

50

スタック10は、AlGa_N、より正確にはAl_xGa_{1-x}N等の第1の「ワイドバンドギャップ」半導体を備えるバッファ層12を備えており、xは通常ゼロ~35%の間を備えている。スタックのバッファ層12は、バッファ層12の特定の位置に限定される固定負電荷を備える区域V_fを備えている。

【0041】

表現「固定負電荷」は、非可動である電荷を意味する（この文脈における可動電荷は電子又は正孔を意味する）よう理解され、用語可動は、その従来の意味において、半導体の物理学の分野内と理解される。

【0042】

x y 平面に延在する区域V_fはヘテロ接合から距離dに位置し、厚さtを有している。

10

【0043】

図7は、スタックにおける電荷の分布及び性質をより正確に説明している。電荷の固定特性はこの電荷を取り囲む長方形の枠によって記号で表されているのに対して、可動特性は楕円形の枠によって記号で表されている。上で説明したように、圧電効果のため、固定正電荷71の表面密度+はヘテロ接合15の近傍に存在し、また、ヘテロ接合15に近接して位置する負電荷e_mは、HEMTの動作の原点である二次元電子ガス9を形成している。チャンネル内の電子表面密度e_mは通常、約 $0.5 \times 10^{13} \sim 3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ である。

【0044】

良好な電子閉じ込めを得るよう（負電荷の位置及び適用量を）生じるために必要な電荷プロファイルは、動作電圧によって、ゲート長さによって、及び、トランジスタのチャンネル内の電子密度によって決まる。言い換えれば、各動作電圧V_{DS}に対して、ゲート長さ、電子密度、及び固定電荷プロファイルは最適化されなければならない。

20

【0045】

バッファ層12内に位置する固定負バルク電荷70は、バッファ層12に導入される（炭素、鉄、マグネシウムの原子又はGa_N又はAlGa_N内のアクセプタ中心であると公知の任意の種類の不純物等の）アクセプタ型不純物Aから得られる。

【0046】

発明の1つの目的は、特に、高速スイッチング（エンベロープ変調）、良好な熱伝導率を有するマイクロ波信号電力増幅用途、及び使用条件に依存するバッファ層の構成を意図したトランジスタを提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0047】

発明の一態様によれば、電界効果トランジスタが提供され、z軸に沿ったスタックを備える前記トランジスタは、

- 第1の半導体を備えるバリア層と、
 - 前記バリア層とバッファ層との間のヘテロ接合と、
 - z軸と垂直に位置するx y 平面内及びヘテロ接合の近傍に位置するチャンネルに対して制限される二次元ガスと、
 - 四元又は三元又は二元窒化化合物を備える第2の半導体を備えるバッファ層と、
- スタックは、更に、バッファ層を2つの部分に分割する第1の副層を備え、四元又は三元又は二元窒化化合物を備える第3の半導体を備え、その結果、第2の半導体及び第3の半導体の圧電及び自発分極係数の間の差は、バッファ層の第1の部分と第1の副層との間の第1の界面において、二次元ガスがチャンネルに限定されるように、z軸に沿って向けられ、第1の界面に向かう電界を生成する第1の固定表面電荷を誘導し、ヘテロ接合と、バッファ層の第1の部分と第1の副層との間に位置する第1の界面との間の距離は、トランジスタのスタックの方向O_zと垂直な方向O_xにおけるゲートの長さの3分の1とゲート長さの2倍との間を備え、z軸に沿った第1の副層の厚さは閾値よりも小さいことを特徴とする。有利に、厚さの閾値は20nmである。

40

【0048】

50

このスタック E m p のプロファイルは、可動電荷がチャンネルに対してより良好に限定されることを可能にしている。

【0049】

有利に、二次元ガスは電子ガスであり、バッファ層の第1の部分と第1の副層との間の界面において誘導される固定表面電荷は負であり、従って、第1の副層に向かい、且つ、チャンネルに対して電子を限定する電界を生成する。

【0050】

有利に、第2の半導体は $Al_x Ga_{(1-x)} N$ であり、 $x = 0\%$ である。

【0051】

有利に、第1の副層は、 $Al_{x_1} Ga_{(1-x_1)} N$ を備え、 x_1 は $x + 15\%$ よりも高く、 x_1 はこの第1の副層のアルミニウム含有量である。

10

【0052】

有利に、バッファ層は、更に、第1の副層とバッファ層の第2の部分との間に位置する第2の副層を備え、第2の副層は $Al_{x_2} Ga_{(1-x_2)} N$ を備え、 x_2 は $x + 15\%$ 以下で、且つ、 x 以上であり、 x はバッファ層のアルミニウム含有量であり、 x_2 はこの第2の副層のアルミニウム含有量であり、ヘテロ接合から、第1及び第2の副層の間の第2の界面における負の固定電荷の過剰、及び、正であり、絶対値において、第1の界面の第1の固定表面電荷よりも低い第2の固定表面電荷を生じる。

【0053】

有利に、スタックの方向における第2の副層の厚さは 100nm 以上である。

20

【0054】

有利に、第2の $AlGaN$ 副層は、スタックの方向において増加し、且つ、ヘテロ接合に向かうアルミニウム濃度勾配を有し、副層19及び12b間の界面におけるアルミニウム濃度 x_2 は $x \sim x + 15\%$ の間を備える。

【0055】

特に $AlGaN$ を備える第2の副層の会合は、第1の副層とバッファ層の第2の部分との間の第2の界面の近傍における電子ガスの形成が回避されることを可能にする。

【0056】

アルミニウム濃度勾配は、第2の副層の追加により生じるトランジスタの熱抵抗の低下が制限されることを可能にする。

30

【0057】

有利に、第2の副層は、更に、第2の副層のアルミニウム濃度勾配によって誘導される n 型ドーピングを補うようにアクセプタ型不純物を備える。

【0058】

有利に、第2の副層に導入されるアクセプタ型不純物は、炭素又は鉄、ベリリウム又はマグネシウム又はベリリウム若しくは GaN 又は $AlGaN$ におけるアクセプタ中心であると公知の任意の種類の不純物である。

【0059】

負に帯電される（又は、言い換えれば、負である周囲電荷の合計である）界面を生成する材料の薄層を適切に載置することにより、可動負電荷がトランジスタのチャンネルに対して限定されることを可能にしている。

40

【0060】

以下の非制限的な説明を通読することで、そして、添付図面によって、発明は良好に理解され、他の利点が明らかとなるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0061】

【図1】図1は、既に述べており、従来の HEMT の構造の断面を略図的に示す。

【図2】図2は、既に述べており、従来の HEMT のヘテロ接合の近傍における電荷分布を示す。

【図3】図3は、既に述べており、良好な及び不十分な「ピンチオフ」を有する HEMT

50

のための特性電流 / 電圧曲線を略図的に示す。

【図 4】図 4 は、既に述べており、電流分散を呈する先行技術の H E M T の挙動を略図的に示す。

【図 5】図 5 は、既に述べており、複合バッファ層を有する先行技術のトランジスタのスタックを略図的に示す。

【図 6】図 6 は、既に述べており、先行技術の電界効果トランジスタのためのスタックを示す。

【図 7】図 7 は、既に述べており、先行技術のスタックにおける電荷の構造をより正確に説明する。

【図 8】図 8 は、G a N 結晶内部の電荷分布を示す。

10

【図 9】図 9 は、2つの G a N ウルツ鉱型結晶構造を示す。

【図 10】図 10 は、発明の一態様によるトランジスタを示す。

【図 11】図 11 は、発明の一態様によるトランジスタを示す。

【図 12】図 12 は、発明によるスタックの A l G a N 内のアルミニウムのパーセンテージのプロファイルの一例を示す。層 19 のアルミニウム濃度プロファイルの 3 つの変形を示す（副層 16 及び 19 間の界面におけるアルミニウム濃度は副層 19 及び 12 b 間の界面におけるアルミニウム濃度以上である）。

【図 13】図 13 は、様々な第 1 の副層アルミニウム含有量に対する発明による H E M T のシミュレートされた $\log(I_{DS}) = f(V_{GS})$ 電流電圧特性を示す。

【発明を実施するための形態】

20

【0062】

発明の原理は、トランジスタの使用条件を反映しなければならない固定電荷を（不純物の形態で）添加するのではなく、スタック材料の固有特性を採用してチャンネルを流れる可動電荷を限定することにある。

【0063】

固体において、分極の効果は、結晶の原子が、電界の作用の下で部分的又は完全に配向されてもよいか、そうでなくてもよい双極子を形成する場合に現れる。

【0064】

四元、三元、又は二元半導体において、異なる電気陰性度を有する異なる性質の原子の存在のため、非対称分子が形成し、それによって永久双極子モーメントを生じる。半導体はこれらの分極効果を容易に受ける。

30

【0065】

分極電荷は 2 つのメカニズム、すなわち、自発分極及び圧電分極から生じる。

【0066】

自発分極は接触する様々な原子の電気陰性度の差から生じ、圧電分極は力学的歪みから生じる。

【0067】

自発分極によって、それが意味するものは、電界を受けず、且つ、分子が構成される原子の電気陰性度における差に基づいている分子の分極である。この場合、発明は、この族の材料に特有のこれら 2 種類の分極（自発分極及び圧電分極）の活用に基づいている（すなわち、I I I - N 族：元素周期表の第 I I I 族の元素と窒素の会合：例えば、B N、G a N、A l N、及び I n N は二元 I I I - N 化合物であり、A l G a N、I n A l N、I n G a N、B G a N は三元 I I I - N 化合物であり、I n G a A l N は、例えば、四元 I I I - N 化合物である）。

40

【0068】

図 8 は、G a N 結晶内部の電荷分布を示している。

【0069】

ガリウム原子は窒素原子よりも電氣的陰性が低い（それぞれ、1.6 e V 及び 3 e V の電気陰性度）ので、これら原子間の共有結合の電子は窒素原子により近い高い確率を有している。従って、負電荷はこれら原子の周りで合体し、正電荷はガリウム原子の周りで合

50

体する。結晶内部の最終的な電荷分布は様々な寄与

【数 1】

$$\vec{P}_1, \vec{P}_2, \vec{P}_3, \vec{P}_4$$

の合計から生じる。

【数 2】

$$\vec{P}_r$$

で表される分極

【数 3】

$$\vec{P}_2, \vec{P}_3, \vec{P}_4$$

の合力は

【数 4】

$$\vec{P}_1$$

と反対である。計算は、

【数 5】

$$\vec{P}_1$$

の寄与が合力

【数 6】

$$\vec{P}_r$$

の寄与よりも大きく、従って、最終的な自発分極が同じ方向に配向され、

【数 7】

$$\vec{P}_1$$

と同じ符号を有することを示している。

【0070】

配向された Ga - N 結合 ([0001] 結晶方向) が表面に向いている場合は、Ga 面又はガリウム極性 GaN と言われ、反対の場合は、N 面又は窒素極性 GaN と言われる。

【0071】

N 面ウルツ鉱型構造において、正電荷が表面に生じ、同じ大きさの負電荷が基板側に形成する。電荷分布は、図 9 が示すように、Ga 面ウルツ鉱型構造の場合において反対になる。

【0072】

アルミニウム原子の電気陰性度が窒素原子のものよりも低いので、自発分極から生じる電界の符号及び向きは、AlGa_{1-x}N 層及び GaN 層において全く同じである。

【0073】

図 10 は、発明の一態様によるスタックを備えるトランジスタを示している。

【0074】

スタック 10 は基板 11 を備え、それはまた、AlN 等の二元窒化化合物、若しくは、AlGa_{1-x}N 又は InAlN、及びより正確には、Al_xGa_{1-x}N 又は In_yAl_{1-y}N 等の三元窒化化合物であり、x は通常 15 ~ 35 % の間を備え、若しくは、BAlGa_{1-x}N 又は InGaAlN 等の四元窒化化合物を備える第 1 の半導体を備えるバリア層 13 も備えている。

【0075】

スタック 10 は、バッファ層 12 とバリア層 13 との間のヘテロ接合 15、及び、HEMT スタックの従来構造により、z 軸と垂直な xy 平面内且つヘテロ接合 15 の近傍に位

10

20

30

40

50

置する二次元電子ガス 9 を含んでいる。

【0076】

バッファ層 12 は、更に、バッファ層 12 を 2 つの部分 12 a 及び 12 b に分離させる第 1 の副層 16 を備えている。第 1 の副層 16 は、ゲートの長さ L_g の 3 分の 1 とゲートの長さ L_g の 2 倍との間を備える距離で位置する。言い換えれば、バッファ層 12 の第 1 の部分 12 a の厚さはトランジスタのゲートの長さ L_g の 3 分の 1 とゲートの長さ L_g の 2 倍との間を備えている。

【0077】

この場合、バッファ層 12 は Ga 面窒化ガリウム GaN を備え、第 1 の副層 16 は $Al_xGa_{1-x}N$ を備え、アルミニウム含有量 x は $x + 15\%$ よりも高く、スタック 10 の方向における第 1 の副層 16 の厚さ t は 20nm よりも小さい。他の材料を想定してもよい。しかし、頻繁に挙げられる窒化インジウムガリウム InGa_{0.5}N は良い候補ではない。具体的には、満足な結晶品質で数パーセントを超えるインジウムを備える InGa_{0.5}N を成長させることは困難である。加えて、InGa_{0.5}N は、GaN を成長させるために要求されるものよりも低い 200°C である温度で成長する。従って、結果として、InGa_{0.5}N の層上で、InGa_{0.5}N 層の品質を低下させることなく、GaN 等の化合物を良好な結晶品質で成長させることは困難である。

10

【0078】

この特許において提案する解決法において、様々な材料の成長温度同士は、スタックの様々な層が満足な結晶品質で作製されることを可能にするために、かなり近似している。

20

【0079】

層 12 a 及び 16 の分極間の差のため、第 1 の固定負表面電荷は、バッファ層の第 1 の部分 12 a と第 1 の副層 16 との間に位置する界面 17 において現れる。言い換えれば、負電荷は界面 17 において現れ、第 1 の副層 16 のバルク内又はバッファ層の第 1 の部分 12 a 内には現れない。

【0080】

この解決法は、特に、トランジスタの熱劣化が $2^\circ\text{C}/\text{mm}/\text{W}$ よりも低い値に制限されることを可能にし、(負電荷をバッファ層 12 に導入するよう、従来技術による、深準位中心の使用に起因するものである) 相互コンダクタンス周波数分散を生じない。

【0081】

二次元電子ガス 9 は、従って、チャンネルに限定され、可動電荷はバッファ層の第 1 の部分 12 a に分散しない。

30

【0082】

チャンネルによって、意味するものは、ヘテロ接合 15 の近傍でバッファ層 12 の表面上に位置する約 10nm よりも小さい厚さの層である。

【0083】

第 1 の副層 16 の $Al_xGa_{1-x}N$ の小さい厚さはトランジスタの熱抵抗の増加を $2^\circ\text{C}/\text{mm}/\text{W}$ よりも低い値に制限する。

【0084】

その上、別の電子ガスが第 1 の副層 16 とバッファ層の第 2 の部分 12 b との間の第 2 の界面 18 に形成することを防ぐために、発明の別の態様により、第 1 の副層 16 と、第 1 の副層 16 に隣接する第 2 の副層 19、又は、言い換えれば、第 2 の界面 18 を形成するために第 1 の副層 16 と当接する第 2 の副層 19 を会合させることが提案される。第 1 の副層 16 と第 2 の副層 19 との間の第 2 の界面 18 の近傍に位置する電荷の合計は正である。

40

【0085】

図 11 は、発明のこの態様を示している。

【0086】

スタック 10 は、図 10 におけるように、第 1 の副層 16 によって 2 つの部分 12 a 及び 12 b に分離されるバッファ層 12 を備えている。この場合、スタック 10 は、更に、

50

Al_xGa_{1-x}Nを備える第2の副層19を備え、アルミニウム含有量x₂はx + 15%よりも低い。従って、第2の界面18の近傍の自発性及び圧電性電荷の(正の値)の合計が第1の界面17の自発性及び圧電性電荷の(負の値)の合計よりも低いという事実は、チャンネルに対する電子の良好な閉じ込めが、マイクロ波波長領域におけるトランジスタの性能を低下させる、寄生電子ガスが界面18において形成されることを防ぐ間に得られることを可能にする。

【0087】

AlGa_Nの熱伝導率がアルミニウム濃度により大幅に低下する(10%のアルミニウム含有量に対して4で除算される)ので、熱抵抗を向上させるよう、第1の副層16に向けられる増大するアルミニウム濃度勾配を生成することが提案される。一定のアルミニウム濃度に対して、線形アルミニウム濃度勾配は、第2の副層に起因する熱抵抗が3~4倍減少することを可能にする。

10

【0088】

図12は、スタックのアルミニウム濃度プロファイルP1、P2、及びP3を示している。小さい厚さ、通常20nmよりも小さい厚さの第1の副層16は、ヘテロ接合15の近傍におけるチャンネルに対する電子の閉じ込めを向上させるように、高いアルミニウム含有量を備えている。第1の副層16からバッファ層の第2の部分12bへ、プロファイルP1におけるアルミニウム含有量は減少する線形勾配を有しており、アルミニウム含有量はx + 0 ~ x + 15%の間を備えている。プロファイルP2及びP3は、第2の副層19より上のアルミニウム含有量における他の減少変動を呈している。

20

【0089】

この濃度勾配によって誘導されるAlGa_N層19のn型ドーピングを補うため、発明に対する1つの改善において、アクセプタ型不純物をAlGa_N層19に導入することが提案される。

【0090】

有利に、第2の副層19に導入される不純物は、鉄又は炭素又はマグネシウム又はベリリウム又はGa_N又はAlGa_Nにおけるアクセプタ中心であると公知の任意の他の原子である。導入された不純物濃度は、この濃度勾配によって誘導されるドーピング以上である。この濃度勾配は、濃度勾配によって誘導され、AlGa_N層19の厚さによって分割される圧電性及び自発性電荷の合計以上でなければならない。

30

【0091】

図13は、電圧V_{DS} = 40Vに対する150nmのゲート長さL_gの、発明によるトランジスタのためのシミュレートされたlog(I_{DS}) = f(V_{GS})伝達曲線61、62、63、及び64を示している。第1の副層16は、ヘテロ接合15から100nmに位置し、5nmの厚さt₁を有している。

【0092】

この場合、曲線61、62、63及び64はそれぞれ、第1の副層16がそれぞれ異なるアルミニウム含有量: 25、30、35、及び40%を有するトランジスタに対応している。

【0093】

それぞれの曲線の閾値下の振れSSが10倍当たり約70mVであり、その理想値(室温で60mV/decade)に近似していることが見て取れる。この70mV/decadeの値は、アルミニウム含有量が40%である場合に電流の50倍を超えて維持され、これは1μA/mm未満の漏れ電流が達成されることを可能にし、電力消費が重要な基準である用途にとって真価を示す。

40

【 図 1 】

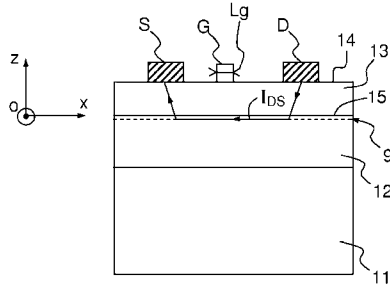


FIG.1

【 図 2 】

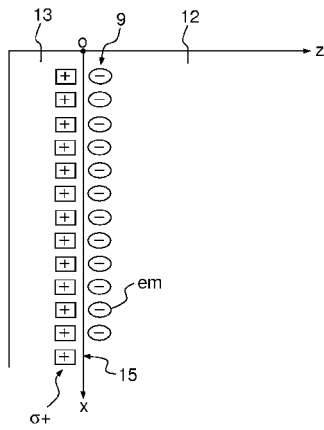


FIG.2

【 図 4 】

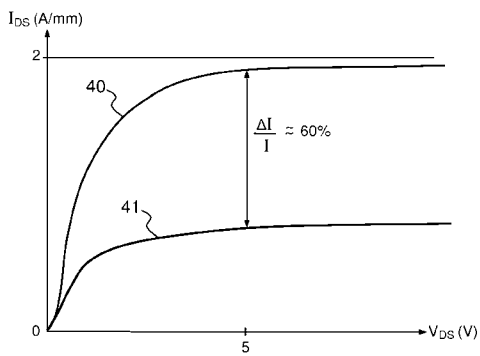


FIG.4

【 図 5 】

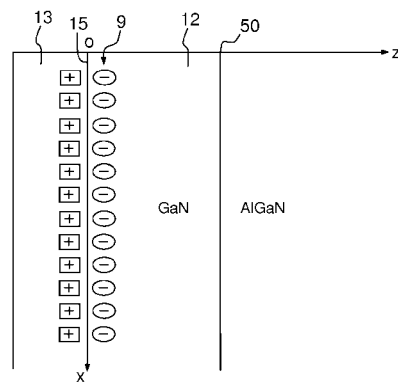


FIG.5

【 図 6 】

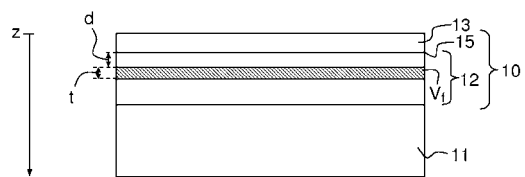


FIG.6

【 図 3 】

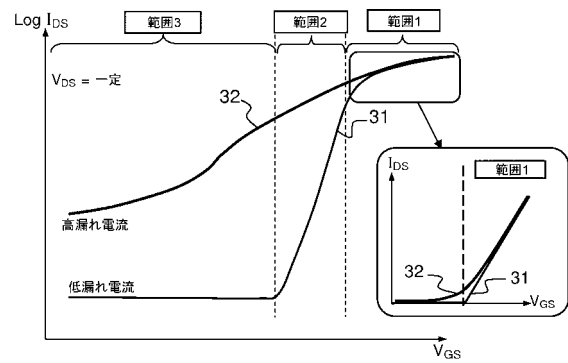


FIG.3

【 図 7 】

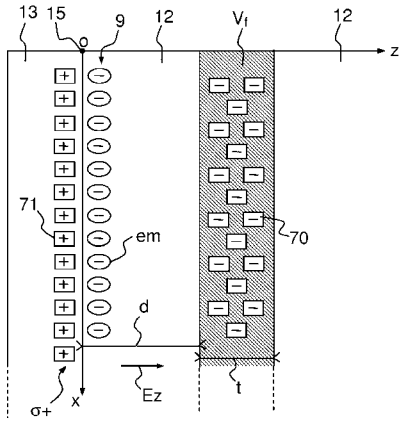


FIG.7

【 図 9 】

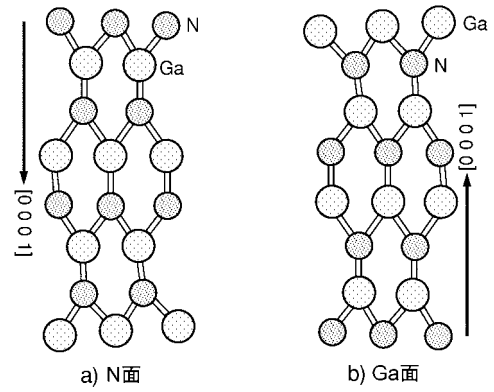


FIG.9

【 図 8 】

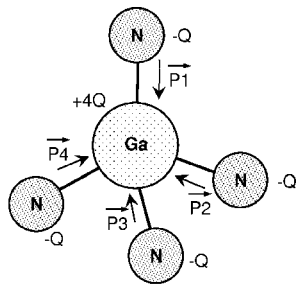


FIG.8

【 図 1 0 】

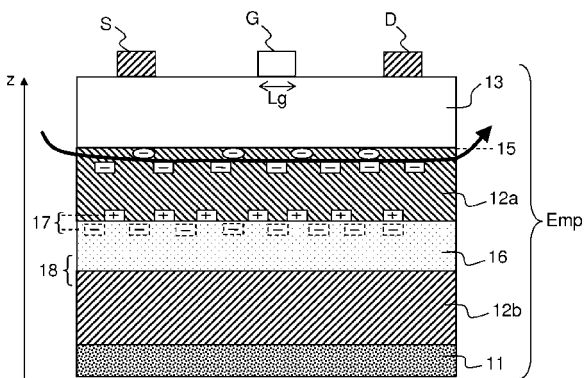


FIG.10

【 図 1 2 】

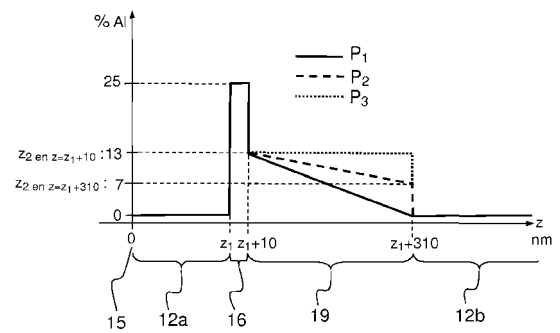


FIG.12

【 図 1 1 】

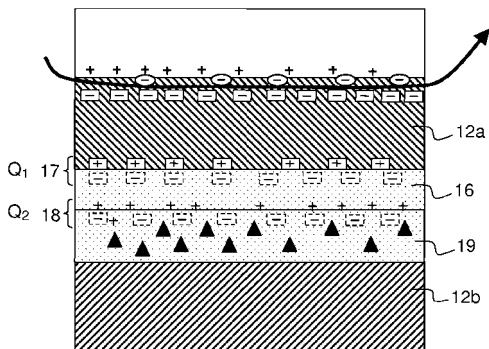


FIG.11

【 図 1 3 】

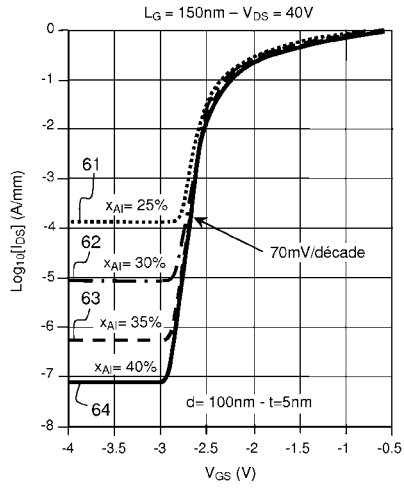


FIG.13

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/EP2016/075971

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. H01L29/778 H01L29/201 ADD. H01L29/20 H01L29/207		
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) H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX, INSPEC, IBM-TDB		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2008 010803 A (NAT INST OF ADV IND & TECHNOL) 17 January 2008 (2008-01-17) figures 1-3 et texte associé -----	1-9
X	US 2010/289067 A1 (MISHRA UMESH [US] ET AL) 18 November 2010 (2010-11-18) figures 3-5 et texte associé -----	1-9
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
26 January 2017		03/02/2017
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Moehl, Sebastian

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/075971

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 2008010803 A	17-01-2008	JP 5334149 B2 JP 2008010803 A	06-11-2013 17-01-2008
US 2010289067 A1	18-11-2010	CN 102460710 A CN 104952709 A US 2010289067 A1 US 2014342512 A1 WO 2010132587 A2	16-05-2012 30-09-2015 18-11-2010 20-11-2014 18-11-2010

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2016/075971

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. H01L29/778 H01L29/201 ADD. H01L29/20 H01L29/207		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) H01L		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX, INSPEC, IBM-TDB		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	JP 2008 010803 A (NAT INST OF ADV IND & TECHNOL) 17 janvier 2008 (2008-01-17) figures 1-3 et texte associé -----	1-9
X	US 2010/289067 A1 (MISHRA UMESH [US] ET AL) 18 novembre 2010 (2010-11-18) figures 3-5 et texte associé -----	1-9
<input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "Z" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
26 janvier 2017		03/02/2017
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Moehl, Sebastian

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2016/075971

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP 2008010803 A	17-01-2008	JP 5334149 B2 JP 2008010803 A	06-11-2013 17-01-2008
US 2010289067 A1	18-11-2010	CN 102460710 A CN 104952709 A US 2010289067 A1 US 2014342512 A1 WO 2010132587 A2	16-05-2012 30-09-2015 18-11-2010 20-11-2014 18-11-2010

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), 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, 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

(72)発明者 ジャケ, ジャン - クロード
フランス国、 9 1 4 0 0 ・ オルセー、 レジデンス・ドゥ・レスブラネード、 パサージュ・デュ・シ
ュマン・ドゥ・フェール・ 2

(72)発明者 ガマラ, ピエロ
フランス国、 9 1 1 2 0 ・ パレゾー、 リュ・オーギュスト・ロダン・ 1 1

(72)発明者 ピョトロウィッチ, ステファーン
フランス国、 7 8 1 1 4 ・ マニー・レ・ザモー、 リュ・ジュヌビエーブ・オーブ・ 1 9 ・ ビス

(72)発明者 ラカン, セドリック
フランス国、 9 2 1 2 0 ・ モンルージュ、 プールパール・ロマン・ロラン、 9 5

(72)発明者 ポワソン, マリー - アントワネット
フランス国、 7 5 0 0 8 ・ パリ、 アブニユ・ジョルジュ・サンク、 3 2

(72)発明者 パタール, オリピエ
フランス国、 7 5 0 1 4 ・ パリ、 リュ・デュ・ムーラン・ベール、 9 4

Fターム(参考) 5F102 GB01 GC01 GD01 GD10 GJ02 GJ03 GJ10 GK04 GK08 GL04
GM04 GR07