

(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2004-128028

(P2004-128028A)

(43) 公開日 平成16年4月22日(2004.4.22)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 29/80	HO 1 L 29/80	3 K 0 0 7
HO 1 L 51/00	HO 5 B 33/14	5 F 1 0 2
HO 5 B 33/14	HO 1 L 29/28	

審査請求 未請求 請求項の数 17 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2002-286815 (P2002-286815)	(71) 出願人	000006747 株式会社リコー 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
(22) 出願日	平成14年9月30日 (2002.9.30)	(71) 出願人	502196670 工藤 一浩 千葉県千葉市稲毛区弥生町1番33号 千葉大学内
		(74) 代理人	100060690 弁理士 瀧野 秀雄
		(72) 発明者	冢地 洋之 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内
		(72) 発明者	工藤 一浩 千葉県千葉市稲毛区弥生町1番33号 千葉大学内

最終頁に続く

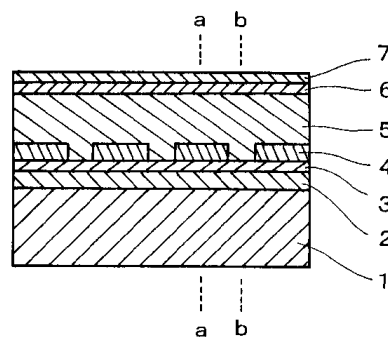
(54) 【発明の名称】 縦型有機トランジスタ

(57) 【要約】

【課題】 電流密度及び動作速度を向上させると共に、再現性良く大量に生産できる構造の縦型有機トランジスタを低コストで提供する。

【解決手段】 基板 1 上に、少なくとも、第一の電極（ドレイン電極）2、第一の半導体層3、櫛状又はメッシュ状の第二の電極（ゲート電極）4、第二の半導体層5、及び、第三の電極（ソース電極）7を順次有する縦型有機トランジスタにおいて、前記第一の半導体層3を無機半導体材料で構成し、そして、前記第二の半導体層5を有機半導体材料で構成する。前記無機半導体材料は、例えば、導電性又は半導体的性質を有する金属酸化物である。前記有機半導体材料は、例えば、 1 ナフタレン等のアセン分子材料、 2 フタロシアニン系化合物等の顔料、 3 ヒドラゾン化合物等の低分子化合物、又は、 4 ポリ-N-ビニルカルバゾール等の高分子化合物である。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基板上に、少なくとも、第一の電極、第一の半導体層、櫛状又はメッシュ状の第二の電極、第二の半導体層、及び、第三の電極を順次有する縦型有機トランジスタにおいて、前記第一の半導体層を無機半導体材料で構成し、そして、前記第二の半導体層を有機半導体材料で構成したことを特徴とする縦型有機トランジスタ。

## 【請求項 2】

基板、第一の電極及び第一の半導体層が可視光に対して透明であることを特徴とする請求項 1 に記載の縦型有機トランジスタ。

## 【請求項 3】

第一の半導体層と第一の電極との接触が、オーミック接触であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の縦型有機トランジスタ。

## 【請求項 4】

第一の半導体層と第二の電極との接触が、ショットキー接触であることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の縦型有機トランジスタ。

## 【請求項 5】

第二の半導体層と第二の電極との接触が、ショットキー接触であることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の縦型有機トランジスタ。

## 【請求項 6】

第二の半導体層と第三の電極との接触が、オーミック接触であることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の縦型有機トランジスタ。

## 【請求項 7】

第一の半導体層と第二の電極との接触、及び、第二の半導体層と第二の電極との接触の内どちらか一方が、ショットキー接触であることを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の縦型有機トランジスタ。

## 【請求項 8】

第一の半導体層を構成する無機半導体材料が、導電性を有する金属酸化物であることを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれかに記載の縦型有機トランジスタ。

## 【請求項 9】

前記導電性を有する金属酸化物が、 1 酸化錫、酸化チタン、酸化ゲルマニウム、酸化銅、酸化銀、酸化インジウム、酸化タリウム、チタン酸バリウム、チタン酸ストロンチウム、クロム酸ランタン、酸化タングステン、酸化ユーロピウム、酸化アルミニウム、及び、クロム酸鉛から選択される、少なくとも 1 種の化学量論比からずれることによって、酸素空孔又は格子間金属を生じて高い導電率を示す金属酸化物、 2 酸化レニウム、酸化チタン、チタン酸ランタン、ニッケル酸ランタン、酸化銅ランタン、酸化ルテニウム銅、イリジウム酸ストロンチウム、クロム酸ストロンチウム、チタン酸リチウム、酸化イリジウム、酸化モリブデンから選択される、少なくとも 1 種の化学量論比のときに、最も導電率の高い金属酸化物、 3 酸化バナジウム、酸化クロム、鉄酸化カルシウム、鉄酸化ストロンチウム、コバルト酸ストロンチウム、バナジウム酸ストロンチウム、ルテニウム酸ストロンチウム、コバルト酸ランタン、及び、酸化ニッケルから選択される少なくとも 1 種の導電性の金属酸化物、或いは、 4 酸化タングステン、酸化モリブデン、及び、酸化レニウムのペロブスカイト構造の A 位置の原子の無いところに、水素原子、アルカリ金属、アルカリ土類金属、又は、希土類金属が入ったタングステンブロンズ ( $M_x W O_3$ )、 $M_x M O_3$ 、及び、 $M_x R e O_3$  から選択される少なくとも 1 種の導電性の金属酸化物ブロンズであることを特徴とする請求項 8 に記載の縦型有機トランジスタ。

## 【請求項 10】

第一の半導体層を構成する無機半導体材料が、半導体的性質を有する金属酸化物であることを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれかに記載の縦型有機トランジスタ。

## 【請求項 11】

(a) 酸化亜鉛、酸化チタン、酸化錫、酸化インジウム、酸化アルミニウム、酸化ニオブ

10

20

30

40

50

、五酸化タンタル、チタン酸バリウム、及び、チタン酸ストロンチウムから選択される n 型半導体、(b)酸化ニッケル、酸化コバルト、酸化鉄、酸化マンガン、酸化クロム、酸化ビスマスから選択される p 型半導体、或いは、(c)請求項 9 に記載された 1 ~ 4、前記(a)~(b)に記載された金属酸化物に不純物をドーピングして形成した n 型半導体又は p 型半導体で構成されていることを特徴とする請求項 10 に記載の縦型有機トランジスタ。

【請求項 12】

前記第二の有機半導体層を構成する有機半導体材料が、1 ナフタレン、アントラセン、テトラセン、ペンタセン、ヘキサセン、及び、それらの誘導体から選択される少なくとも 1 種のアセン分子材料、2 銅フタロシアニン系化合物(CuPc)、アゾ系化合物、ペリレン系化合物、及び、それらの誘導体から選択される少なくとも 1 種の顔料、3 ヒドラゾン化合物、トリフェニルメタン化合物、ジフェニルメタン化合物、スチルベン化合物、アリールビニル化合物、ピラゾリン化合物、トリフェニルアミン誘導体(TPD)、トリアリールアミン化合物、低分子量アリールアミン誘導体(-NPD)、2, 2', 7, 7'-ジフェニルアミノ-スピロ-9, 9'-ビフルオレン(Spiro-TAD)、N, N'-7-ジ-1-ナフチル-N, N'-ジフェニル-4, 4'-ジアミノ-ビフェニル(Spiro-NPB)、4, 4', 4''-トリス[3-メチルフェニル-(フェニル)-アミノ]-トリフェニル-アミン(mMTDATA)、2, 2', 7, 7'-テトラキス(2, 2'-ジフェニルビニル)スピロ-9, 9'-ビフルオレン(Spiro-DPVBi)、4, 4', 4''-ビス(2, 2'-ジフェニルビニル)ビフェニル(DPVBi)、アルミニウム-トリソキシキノリン(Alq)、8-ヒドロキシキノリンアルミニウム(Alq<sub>3</sub>)、トリス(4-メチル-8-ヒドロキシキノレート)アルミニウム錯化合物(Almq<sub>3</sub>)、及び、それらの誘導体から選択される少なくとも 1 種の低分子化合物、或いは、4 ポリ-p-フェニレンビニレン(PPV)、ビフェニル基を有するポリマー(Biphenyl-Monomers)、ジアルコキシ基を有するポリマー(Dialkoxymonomers)、アルコキシ-フェニル-PPV、フェニル-PPV、フェニル-ジアルコキシ-PPV コポリマー、ポリ(2-メトキシ-5-(2-エチル-ヘキシルオキシ)-1, 4-フェニレンビニレン)(MEH-PPV)、ポリ(エチレンジオキシチオフエン)(PEDOT)、ポリスチレンスルホン酸(PSS)、ポリアニリン(PANI)、ポリ-N-ビニルカルバゾール、ハロゲン化ポリ-N-ビニルカルバゾール、ポリビニルピレン、ポリビニルアントラセン、ピレンホルムアルデヒド樹脂、エチルカルバゾールホルムアルデヒド樹脂、及び、それらの変性体から選択される少なくとも 1 種の高分子化合物、で構成されていることを特徴とする請求項 1 ~ 11 のいずれかに記載の縦型有機トランジスタ。

【請求項 13】

前記第二の有機半導体層と第三の電極との間に電荷輸送層を有することを特徴とする請求項 1 ~ 12 のいずれかに記載の縦型有機トランジスタ。

【請求項 14】

前記電荷輸送層が、1 トリフェニルアミン誘導体(TPD)、トリアリールアミン化合物、低分子量アリールアミン誘導体(-NPD)、2, 2', 7, 7'-ジフェニルアミノ-スピロ-9, 9'-ビフルオレン(Spiro-TAD)、N, N'-7-ジ-1-ナフチル-N, N'-ジフェニル-4, 4'-ジアミノ-ビフェニル(Spiro-NPB)、4, 4', 4''-トリス[3-メチルフェニル-(フェニル)-アミノ]-トリフェニル-アミン(mMTDATA)、及び、それらの誘導体から選択される少なくとも 1 種の低分子化合物、或いは、2 ポリ(エチレンジオキシチオフエン)(PEDOT)、ポリスチレンスルホン酸(PSS)、ポリアニリン(PANI)、及び、それらの変性体から選択される少なくとも 1 種の高分子化合物で構成されていることを特徴とする請求項 13 に記載の縦型有機トランジスタ。

【請求項 15】

前記第一の電極、第二の電極及び第三の電極が、クロム(Cr)、Ta(タリウム)、チ

タン ( T i )、銅 ( C u )、アルミニウム ( A l )、モリブデン ( M o )、タングステン ( W )、ニッケル ( N i )、金 ( A u )、パラジウム ( P d )、白金 ( P t )、銀 ( A g )、錫 ( S n )、リチウム ( L i )、カルシウム ( C a )、I T O 等の導電性の酸化物、導電性ポリアニリン、導電性ポリピロール、導電性ポリチアジル、及び、導電性ポリマよりなる群から選択される少なくとも 1 種の材料で構成されていることを特徴とする請求項 1 ~ 1 4 のいずれかに記載の縦型有機トランジスタ。

【請求項 1 6】

前記ゲート電極が、100nm以下、好ましくは、40~60nmの膜厚のAl薄膜で形成されることを特徴とする請求項 1 ~ 1 5 のいずれかに記載の縦型有機トランジスタ。

【請求項 1 7】

前記ソース電極及び前記ドレイン電極が、100~500nmの膜厚の薄膜で形成されることを特徴とする請求項 1 ~ 1 6 のいずれかに記載の縦型有機トランジスタ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、自発光型有機エレクトロルミネッセンス ( E L ) ディスプレイの駆動素子として有用な縦型有機トランジスタに関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、有機EL素子を用いたフルカラーディスプレイは、無機材料を用いた発光素子に比べて、1 軽量化が可能であること、2 大面積化が容易であること、3 低コストであること、4 種々の発光が得られること、といった利点を有していることが明らかになってきたので、注目されるようになってきた。このようなフルカラーディスプレイにおいて用いられる有機半導体は、商品としての実用化の時代を迎えようとしており、その実用化研究がますます盛んに行われるようになってきた。また、有機EL素子を用いたフルカラーディスプレイは、1 高輝度であって、2 薄型であり、しかも、3 極めて早い応答速度を有しているため、現在、主流となっている液晶ディスプレイに代わる次世代ディスプレイデバイスとして有望視されている。

【0003】

有機トランジスタの研究は、1980年代初頭から盛んに行われ、低分子有機半導体膜及び高分子有機半導体膜の基礎的な特性が調べられたが、有機半導体材料は、無機半導体材料に比べて、低電荷移動度及び高電気抵抗を有する材料であるため、実用的な観点においては、あまり注目されなかった。高移動度有機半導体材料としては、1 ペンタセン、金属フタロシアニン等の低分子化合物、2  $C_3 \sim C_8$  のn-チオフェン等の短鎖オリゴマー、及び、3 ポリチオフェン、ポリフェニレンピニレン等の長鎖ポリマーがある。前記長鎖ポリマーは、共役系導電性高分子として知られており、隣接する多重結合した原子間の原子軌道の重なり合いによって、分子、オリゴマー及びポリマーに沿った電荷の移動が可能になり、また、隣接する分子間の分子軌道の重なり合いによっては、分子間の電荷移動も可能になる。低分子化合物又は短鎖オリゴマーの有機薄膜は、有機材料としては最も高い移動度を示すことが知られているが、このような高移動度を示す低分子化合物又は短鎖オリゴマーは、真空蒸着によって、規則的に配列された薄膜として基板等に付着される。この薄膜内の規則配列により、原子軌道が重なり合い、そのために、隣接する分子間の電荷の移動をもたらすと考えられている。前記長鎖ポリマーは、可溶性が大きく、スピン・コーティングやディッピング・コーティングやキャストなど低コストのプロセス技術で成膜が可能であるため、工業的にやや有利であるが、配列が不規則なため電荷移動度はより低いという問題があった。このように、いまのところ、決定的に高い電荷移動度を有する有機半導体材料は見当たらず、今後の高電荷移動度有機材料の出現に期待するところは極めて大きい。

【0004】

一般的に、有機半導体材料を用いたデバイスに対しては、材料によらずに、電流密度や動

10

20

30

40

50

作速度を高める構造的な工夫とアプローチ方法が有効であるが、例えば、前述の有機EL素子に、隣接して駆動用の電界効果型トランジスタ(FET)を横にした構造の横型TFTを単純に導入しても、その電荷移動度が低く、動作速度及び電力の観点から、十分な特性を得ることが非常に難しいという問題があった。そこで、本発明者は、低い電荷移動度でも、大きな電流と比較的高い動作速度が得られるスイッチング素子として、縦型FET構造を採用することによって、トランジスタ特性を向上した縦型有機静電誘導トランジスタ(SIT: Static Induction Transistor)を提案した(非特許文献1を参照。)

#### 【0005】

縦型SITは、通常の電界効果型トランジスタ(FET: Field Effect Transistor)が活性層の水平方向に電流を流す横形であるのに対して、活性層の垂直方向に電流を流す縦形であるので、(イ)トランジスタの電流経路であるチャネル長を有機膜厚以下にすることができ、そのために、リソグラフィ技術によらずチャネル長を短くすることができ、(ロ)表面に形成した電極全体を有効利用でき、そして、(ハ)チャネル界面のラフネスの影響を少なくできる。それ故、縦型SITは、高抵抗、低移動度である有機半導体材料を半導体層の構成材料に用いたものであっても、大きな電流密度と高い動作速度の実現が期待できる。また、縦型SITと有機EL素子と組み合わせた複合型有機発光素子は、プロセスが簡単である上に、FET部がディスプレイの占有面積を妨げずに有効に使われるので、有利である。

#### 【0006】

図11は、SITの動作機構を説明する概略断面図である。SITは、一般的に、 $n+$ ソース電極101と $n+$ ドレイン電極102に挟まれた半導体層104に $p+$ ゲート103が挿入された構造をしている。 $p+$ ゲート電極103に電圧を印加したとき、両側にある $p+$ ゲート103から半導体層104中に伸びてきた空乏層(図中点線で示した部分)105がお互いにちょうど接触するときの電圧に対して、ゲート電圧が小さい場合に、SITはオン状態になる。オフ状態にするには、 $p+$ ゲート103と $n+$ ソース電極101との間に負の電圧を印加して、電位レベルを持ち上げてやる。つまり、 $n+$ ソース電極101と $n+$ ドレイン電極102との間に流れる電流IDSは、 $p+$ ゲート103に印加された電圧とドレイン電圧VDによって生じる電位障壁の高さによって決まる。このような動作をするSITは、ノーマリーオン特性のSITと呼ばれている。ノーマリーオン特性のSITは、1 ゲートからのキャリアの注入がないので動作速度が速いこと、2 電流集中がないので、大電流が流せること、3 小駆動電力で電圧制御デバイスであること、及び、4 不飽和電流電圧特性を示すこと、等の特徴を有している。有機半導体を用いたSITとしては、CuPcをソース電極、ドレイン電極で挟み、ゲート電極にアルミニウムを有機材料のCuPc内部に薄く真空蒸着により形成したスリット状のアルミニウムを埋め込んだ縦型TFTが報告されている(非特許文献2を参照。)

#### 【0007】

また、複合型有機発光トランジスタとしては、CuPc上に、正孔輸送材料として-NPD、発光材料としてAlq<sub>3</sub>を使用し、ゲート電極を前述の-NPD層中に配置した素子の性能が報告されている(非特許文献2を参照。)

#### 【0008】

これらの有機半導体を用いたSITにおいては、CuPcによる有機分子蒸着膜とストライプ状のアルミニウムゲート電極との界面近傍でショットキー障壁が形成されている。このストライプ状のゲート電極は、アルミニウム蒸着源を2箇所配置して行う2点蒸着法、即ち、2箇所に配置したアルミニウム蒸着源と、蒸着マスクと、基板と、の距離を調整することによって、スリット間隔の均一なストライプ状のゲート電極を形成している。このストライプ状のゲート電極がSITのゲート電極として働くには、ゲート電極のスリット巾をショットキー障壁の空乏層巾(数100程度以下)相当にする必要があるが、通常の蒸着方法でこれを実現できない。そこで、このSITにおいては、2点蒸着法による

アルミニウムのにじみ効果を利用して、アルミニウムがにじんでできたアルミニウム半透明膜とアルミニウムが存在しない空乏層巾に相当するスリット巾とを実現している。

【0009】

このように、従来においては、2点蒸着法を用いてゲート電極を形成することにより、SITを実現しているわけであるが、この2点蒸着法においては、蒸着源とメタルマスクと基板との位置関係を三角比を利用して幾何学的に設定しているため、最適設定が難しく、そのために、安定したSIT素子性能を得るのが難しく、しかも、大量生産に不向きであるという問題があった。

【0010】

【非特許文献1】

10

Thin Solid Films 331 (1998) 51 - 54

【非特許文献2】

工藤ら、T. IEE Japan, Vol. 118 - A, No. 10, (1998) P 1166 - 1171

【非特許文献3】

池上ら、電子情報通信学会、OME 2000 - 20、P 47 - 51

【0011】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は、かかる問題を解決することを目的としている。

即ち、本発明は、電流密度及び動作速度を向上させると共に、安定性能を再現できる構造の縦型有機トランジスタを低コストで提供することを目的としている。

20

【0012】

【課題を解決するための手段】

本発明者は、基板上に、少なくとも、第一の電極、第一の半導体層、櫛状又はメッシュ状の第二の電極、第二の半導体層、及び、第三の電極を順次有する縦型有機トランジスタにおいて、前記第一の半導体層を無機半導体材料で構成し、そして、前記第二の半導体層を有機半導体材料で構成したところ、従来のSITが有機半導体層中に形成したストライプ状のスリットゲート電極のショットキー障壁によるポテンシャルの上げ下げにより動作させていたのに対して、導電性を有する金属酸化物で構成される第一の半導体層と第二の半導体層との間に形成される接合障壁をも用いることにより、電流密度及び動作速度を向上させると共に、再現性良く大量に生産できる構造の縦型有機トランジスタを低コストで提供できることを見いだして本発明を完成するに至った。

30

【0013】

即ち、請求項1に記載された発明は、上記目的を達成するために、基板上に、少なくとも、第一の電極、第一の半導体層、櫛状又はメッシュ状の第二の電極、第二の半導体層、及び、第三の電極を順次有する縦型有機トランジスタにおいて、前記第一の半導体層を無機半導体材料で構成し、そして、前記第二の半導体層を有機半導体材料で構成したことを特徴とする縦型有機トランジスタである。

【0014】

請求項2に記載された発明は、請求項1に記載された発明において、基板、第一の電極及び第一の半導体層が可視光に対して透明であることを特徴とするものである。

40

【0015】

請求項3に記載された発明は、請求項1又は2に記載された発明において、第一の半導体層と第一の電極との接触が、オーミック接触であることを特徴とするものである。

【0016】

請求項4に記載された発明は、請求項1～3のいずれかに記載された発明において、第一の半導体層と第二の電極との接触が、ショットキー接触であることを特徴とするものである。

【0017】

請求項5に記載された発明は、請求項1～4のいずれかに記載された発明において、第二

50

の半導体層と第二の電極との接触が、ショットキー接触であることを特徴とするものである。

【0018】

請求項6に記載された発明は、請求項1～5のいずれかに記載された発明において、第二の半導体層と第三の電極との接触が、オーミック接触であることを特徴とするものである。

【0019】

請求項7に記載された発明は、請求項1～6のいずれかに記載された発明において、第一の半導体層と第二の電極との接触、及び、第二の半導体層と第二の電極との接触の内どちらか一方が、ショットキー接触であることを特徴とするものである。

【0020】

請求項8に記載された発明は、請求項1～7のいずれかに記載された発明において、第一の半導体層を構成する無機半導体材料が、導電性を有する金属酸化物であることを特徴とするものである。

【0021】

請求項9に記載された発明は、請求項8に記載された発明において、前記導電性を有する金属酸化物が、1 酸化錫、酸化チタン、酸化ゲルマニウム、酸化銅、酸化銀、酸化インジウム、酸化タリウム、チタン酸バリウム、チタン酸ストロンチウム、クロム酸ランタン、酸化タングステン、酸化ユーロピウム、酸化アルミニウム、及び、クロム酸鉛から選択される、少なくとも1種の化学量論比からずれることによって、酸素空孔又は格子間金属を生じて高い導電率を示す金属酸化物、2 酸化レニウム、酸化チタン、チタン酸ランタン、ニッケル酸ランタン、酸化銅ランタン、酸化ルテニウム銅、イリジウム酸ストロンチウム、クロム酸ストロンチウム、チタン酸リチウム、酸化イリジウム、酸化モリブデンから選択される、少なくとも1種の化学量論比のときに、最も導電率の高い金属酸化物、3 酸化バナジウム、酸化クロム、鉄酸化カルシウム、鉄酸化ストロンチウム、コバルト酸ストロンチウム、バナジウム酸ストロンチウム、ルテニウム酸ストロンチウム、コバルト酸ランタン、及び、酸化ニッケルから選択される少なくとも1種の導電性の金属酸化物、或いは、4 酸化タングステン、酸化モリブデン、及び、酸化レニウムのペロブスカイト構造のA位置の原子の無いところに、水素原子、アルカリ金属、アルカリ土類金属、又は、希土類金属が入ったタングステンブロンズ ( $M_x W O_3$ )、 $M_x M O_3$ 、及び、 $M_x R e O_3$  から選択される少なくとも1種の導電性の金属酸化物ブロンズであることを特徴とするものである。

【0022】

請求項10に記載された発明は、請求項1～7のいずれかに記載された発明において、第一の半導体層を構成する無機半導体材料が、半導体的性質を有する金属酸化物であることを特徴とするものである。

【0023】

請求項11に記載された発明は、請求項10に記載された発明において、(a) 酸化亜鉛、酸化チタン、酸化錫、酸化インジウム、酸化アルミニウム、酸化ニオブ、五酸化タンタル、チタン酸バリウム、及び、チタン酸ストロンチウムから選択されるn型半導体、(b) 酸化ニッケル、酸化コバルト、酸化鉄、酸化マンガン、酸化クロム、酸化ビスマスから選択されるp型半導体、或いは、(c) 請求項9に記載された1～4、前記(a)～(b)に記載された金属酸化物に不純物をドーピングして形成したn型半導体又はp型半導体で構成されていることを特徴とするものである。

【0024】

請求項12に記載された発明は、請求項1～11のいずれかに記載された発明において、前記第二の有機半導体層を構成する有機半導体材料が、1 ナフタレン、アントラセン、テトラセン、ペンタセン、ヘキサセン、及び、それらの誘導体から選択される少なくとも1種のアセン分子材料、2 銅フタロシアニン系化合物 ( $CuPc$ )、アゾ系化合物、ペリレン系化合物、及び、それらの誘導体から選択される少なくとも1種の顔料、3

10

20

30

40

50

ヒドラゾン化合物、トリフェニルメタン化合物、ジフェニルメタン化合物、スチルベン化合物、アリールビニル化合物、ピラゾリン化合物、トリフェニルアミン誘導体 (TPD)、トリアリールアミン化合物、低分子量アリールアミン誘導体 (-NPD)、(2, 2, 7, 7 -ジフェニルアミノ -スピロ - 9, 9 -ピフルオレン (Spiro - TAD)、N, N - 7 -ジ - 1 -ナフチル - N, N -ジフェニル - 4, 4 -ジアミノ -ピフェニル (Spiro - NPB)、4, 4, 4 -トリス [3 -メチルフェニル - (フェニル) -アミノ] -トリフェニル -アミン (mMTDATA)、2, 2, 7, 7 -テトラキス (2, 2 -ジフェニルビニル)スピロ - 9, 9 -ピフルオレン (Spiro - DPVBi)、4, 4, 4, 4 -ビス (2, 2 -ジフェニルビニル)ピフェニル (DPVBi)、アルミニウム -トリソキシキノリン (Alq)、8 -ヒドロキシキノリンアルミニウム (Alq<sub>3</sub>)、トリス (4 -メチル - 8 -ヒドロキシキノレート)アルミニウム錯化合物 (Almq<sub>3</sub>)、及び、それらの誘導体から選択される少なくとも1種の低分子化合物、或いは、4 -ポリ - p -フェニレンビニレン (PPV)、ピフェニル基を有するポリマー (Biphenyl - Monomers)、ジアルコキシ基を有するポリマー (Dialkoxymonomers)、アルコキシ - フェニル - PPV、フェニル - PPV、フェニル - ジアルコキシ - PPVコポリマー、ポリ (2 -メトキシ - 5 - (2 -エチル - ヘキシルオキシ) - 1, 4 -フェニレンビニレン) (MEH - PPV)、ポリ (エチレンジオキシチオフエン) (PEDOT)、ポリスチレンスルホン酸 (PSS)、ポリアニリン (PANI)、ポリ - N - ビニルカルバゾール、ハロゲン化ポリ - N - ビニルカルバゾール、ポリビニルピレン、ポリビニルアントラセン、ピレンホルムアルデヒド樹脂、エチルカルバゾールホルムアルデヒド樹脂、及び、それらの変性体から選択される少なくとも1種の高分子化合物、で構成されていることを特徴とするものである。

#### 【0025】

請求項13に記載された発明は、請求項1～12のいずれかに記載された発明において、前記第二の有機半導体層と第三の電極との間に電荷輸送層を有することを特徴とするものである。

#### 【0026】

請求項14に記載された発明は、請求項13に記載された発明において、前記電荷輸送層が、1 -トリフェニルアミン誘導体 (TPD)、トリアリールアミン化合物、低分子量アリールアミン誘導体 (-NPD)、2, 2, 7, 7 -ジフェニルアミノ -スピロ - 9, 9 -ピフルオレン (Spiro - TAD)、N, N - 7 -ジ - 1 -ナフチル - N, N -ジフェニル - 4, 4 -ジアミノ -ピフェニル (Spiro - NPB)、4, 4, 4, 4 -トリス [3 -メチルフェニル - (フェニル) -アミノ] -トリフェニル -アミン (mMTDATA)、及び、それらの誘導体から選択される少なくとも1種の低分子化合物、或いは、2 -ポリ (エチレンジオキシチオフエン) (PEDOT)、ポリスチレンスルホン酸 (PSS)、ポリアニリン (PANI)、及び、それらの変性体から選択される少なくとも1種の高分子化合物で構成されていることを特徴とするものである。

#### 【0027】

請求項15に記載された発明は、請求項1～14のいずれかに記載された発明において、前記第一の電極、第二の電極及び第三の電極が、クロム (Cr)、タリウム (Ta)、チタン (Ti)、銅 (Cu)、アルミニウム (Al)、モリブデン (Mo)、タングステン (W)、ニッケル (Ni)、金 (Au)、パラジウム (Pd)、白金 (Pt)、銀 (Ag)、錫 (Sn)、リチウム (Li)、カルシウム (Ca)、ITO等の導電性の酸化物、導電性ポリアニリン、導電性ポリピロール、導電性ポリチアジル、及び、導電性ポリマよりなる群から選択される少なくとも1種の材料で構成されていることを特徴とするものである。

#### 【0028】

請求項16に記載された発明は、請求項1～15のいずれかに記載された発明において、

前記ゲート電極が、100nm以下、好ましくは、40～60nmの膜厚のAl薄膜で形成されることを特徴とするものである。

【0029】

請求項17に記載された発明は、請求項1～16のいずれかに記載された発明において、前記ソース電極及び前記ドレイン電極が、100～500nmの膜厚の薄膜で形成されることを特徴とするものである。

【0030】

【発明の実施の形態】

図1は、本発明の一実施の形態を示す縦型有機トランジスタの断面図である。図2は、本発明の一実施の形態を示す縦型有機トランジスタにおけるキャリアのポテンシャルエネルギーの高さを示すグラフである。図3は、本発明の一実施の形態を示す縦型有機トランジスタの製造工程図である。図4は、実施例1で得られた縦型有機トランジスタの概略断面説明図である。図5は、実施例12で得られた縦型有機トランジスタの概略断面説明図である。図6は、実施例6で得られた縦型有機トランジスタの概略断面説明図である。図7は、実施例1で得られた縦型有機トランジスタの第一の電極と第二の電極との間のI-V特性を測定したグラフである。図8は、実施例1で得られた縦型有機トランジスタの第一の電極と第三の電極との間のI-V特性を測定したグラフである。図9は、第一の電極と第一の半導体層と第二の電極との間のI-V特性を測定したグラフである。図10は、実施例1で得られた縦型有機トランジスタの第一の電極と第三の電極との間のI-V特性を測定したグラフである。

10

20

【0031】

本発明は、基板1上に、少なくとも、第一の電極2、第一の半導体層3、櫛状又はメッシュ状の第二の電極4、第二の半導体層5、及び、第三の電極7を順次有する縦型有機トランジスタにおいて、前記第一の半導体層3を無機半導体材料で構成し、そして、前記第二の半導体層5を有機半導体材料で構成したことを特徴としている。第一の電極2、第二の電極4及び第三の電極7は、例えば、それぞれ、ドレイン電極、ゲート電極、及び、ソース電極である。

【0032】

本発明は、第一の電極(ドレイン電極)2と第三の電極(ソース電極)7との間に第一の半導体層3と第二の半導体層5を有しているため、両電極の間隔が狭くなり、そのために、従来のFETにおけるピンチオフ点が第一の電極2側の近くに生じる。したがって、実効チャンネル長は、零に近くなるので、チャンネルが電流値を規制できない状態になり、そのために、第一の電極2付近の調整作用が支配的になる。

30

【0033】

図2の一点鎖線で示すように、いま、第一の電極(ドレイン電極)2と第三の電極(ソース電極)7の間にバイアスをかけると、キャリアのポテンシャルエネルギーは線形の傾斜ができる。しかし、ゲート電極(第二の電極)4のポテンシャル位置は変わらないので、図2のようなポテンシャル分布が得られ、第二の電極に電圧(ゲート電圧) $V_G$ を加えていくと、山の部分が高くなり、また、第一の電極に対する電圧を加えていくと山のすその部分が低くなっていく。

40

【0034】

第二の電極には、空乏層が広がるように(障壁が高くなるように)バイアスをかけるので、図1のa-a線上はキャリアに対して、大きな障壁を作る。一方、b-b線上は、第二の電極4にバイアスが加わると、ポテンシャルエネルギーは、第二の電極4に引き上げられて幾分高くなるものの、a-a線上に比べれば小さくなっているため、トータルとしては、エネルギー障壁が低くなり、そのために、キャリアは、この第二の電極4の間を通過して、第一の電極2の側に流れ落ちることになる。ドレイン電極2におけるキャリアのポテンシャルを基準にとれば、ピンチオフ点は、半導体層界面との間で形成される拡散電位Dだけ高い位置にあり、さらに、第二の電極4のポテンシャルエネルギー位置は、実効的ゲート位置よりも第二の電極4による電圧 $V_G$ だけ高い位置にある。これらのことから

50

、ゲート電極近傍を境界面とした接合面を形成してやれば、前述のトータルとしての障壁が高くなる。また、一方、酸化物半導体材料と有機半導体材料の界面のヘテロ接合による障壁の高さも利用できる。

【0035】

本発明は、このように、第一の半導体層（例えば、無機半導体材料で構成される半導体層）3と第二の半導体層（例えば、有機半導体材料で構成される半導体層）5とを複合させた構造を有する縦型有機トランジスタとしたので、1 トランジスタの電流経路であるチャネル長を膜厚（第一の半導体層3と第二の半導体層4との和）に対応して薄くすることにより、動作抵抗を低くして動作速度を向上させることができると共に、電流密度の向上ができ、しかも、無機半導体材料を用いたことによりさらに動作速度を向上させることができ、2 第二の電極近傍に形成したショットキー接触と2種類の半導体材料のHOMO準位の差による障壁、又は、LUMO準位の差による障壁を有効利用して、第三の電極7と第二の電極4、及び、第二の電極4と第一の電極2の間のリーク電流を低減可能すると共に、オン/オフ比を向上させることにより、応答速度を向上させることができ、3 櫛状又はメッシュ状の第二の電極4の形成に、従来の2点蒸着法を使うことなく、フォトリソ工程、リフトオフ工程、及び、メタルエッチング工程が利用でき、そのために、スリット巾を1 $\mu$ m以下に高精細に加工でき、よって、大量生産に適した再現性の良い素子性能を有する縦型有機トランジスタが実現でき、そして、4 歩留まりが良く、そのために、製造コストを低減化することができる。

10

【0036】

本発明の縦型有機トランジスタにおいては、基板1、第一の電極2及び第一の半導体層3は、好ましくは、可視光に対して透明である。このように、基板1、第一の電極2及び第一の半導体層3が可視光に対して透明であると、本発明の縦型有機トランジスタは、有機EL表示素子となる。

20

【0037】

本発明の縦型有機トランジスタにおいては、第一の半導体層3と第一の電極2との接触は、好ましくは、オーミック接触であり、第一の半導体層3と第二の電極4との接触は、好ましくは、ショットキー接触であり、第二の半導体層5と第二の電極4との接触は、好ましくは、ショットキー接触であり、第二の半導体層5と第三の電極7との接触は、好ましくは、オーミック接触である。そして、本発明の縦型有機トランジスタにおいては、第一の半導体層3と第二の電極4との接触、及び、第二の半導体層5と第二の電極4との接触の内どちらか一方は、好ましくは、ショットキー接触である。

30

【0038】

第一の電極2と第一の半導体層3と間のキャリア注入障壁、又は、第三の電極7と第二の半導体層5と間のキャリア注入障壁を下げれば、印加電圧を低下することにつながり、逆に、キャリア注入障壁を上げれば、印加電圧を高くすることにつながる。金属又は金属的性質を示す有機材料には、必ずしも、整流特性を示さないものがあり、金属-p型有機半導体では、電極材料の仕事関数が  $m > s$  であって、かつ、その差が小さい場合、オーミック接触に近いものになる。電子に対しては、電極の電子親和力が  $m (= m) > s$  であって、かつ、その差が小さい場合、オーミック接触に近いものになる。有機半導体材料においては、正孔に対しては、電極の仕事関数と有機半導体材料のHOMO (Highest Occupied Molecular Orbital) 準位よりも大きな  $m$  であって、かつ、その差が小さい材料を選定し、電子に対しては、電極の電子親和力と有機半導体材料のLUMO (Lowest Unoccupied Molecular Orbital) 準位よりも大きな  $m (= m)$  を満足する金属又は金属的な性質の材料を選定してやれば、比較的容易にオーミック接触を得ることができ、駆動電圧を低くできる。

40

【0039】

また、電極材料の仕事関数が  $m < s$  であって、かつ、その差が大きい場合、ショットキー接触になる。有機半導体材料内のエネルギー準位は、正孔からみれば、表面よりも

50

$s - m$ だけ低くなって障壁ができ、金属側の障壁は、 $s b = (s + (H O M O - L U M O \text{ 差})) - m$ 、即ち、拡散電位は、 $s - m$ となる。

【0040】

本発明の縦型有機トランジスタにおける第一の半導体層3を構成する無機半導体材料は、好ましくは、導電性を有する金属酸化物である。このような導電性を有する金属酸化物は、例えば、1 酸化錫、酸化チタン、酸化ゲルマニウム、酸化銅、酸化銀、酸化インジウム、酸化タリウム、チタン酸バリウム、チタン酸ストロンチウム、クロム酸ランタン、酸化タングステン、酸化ユーロピウム、酸化アルミニウム、及び、クロム酸鉛から選択される、少なくとも1種の化学量論比からずれることによって、酸素空孔又は格子間金属を生じて高い導電率を示す金属酸化物、2 酸化レニウム、酸化チタン、チタン酸ランタン、ニッケル酸ランタン、酸化銅ランタン、酸化ルテニウム銅、イリジウム酸ストロンチウム、クロム酸ストロンチウム、チタン酸リチウム、酸化イリジウム、酸化モリブデンから選択される、少なくとも1種の化学量論比のときに、最も導電率の高い金属酸化物、3 酸化バナジウム、酸化クロム、鉄酸化カルシウム、鉄酸化ストロンチウム、コバルト酸ストロンチウム、バナジウム酸ストロンチウム、ルテニウム酸ストロンチウム、コバルト酸ランタン、及び、酸化ニッケルから選択される少なくとも1種の導電性の金属酸化物、或いは、4 酸化タングステン、酸化モリブデン、及び、酸化レニウムのペロブスカイト構造のA位置の原子の無いところに、水素原子、アルカリ金属、アルカリ土類金属、又は、希土類金属が入ったタングステンブロンズ( $M_x W O_3$ )、 $M_x M O_3$ 、及び、 $M_x R e O_3$ から選択される少なくとも1種の導電性の金属酸化物ブロンズである。

10

20

【0041】

本発明の縦型有機トランジスタにおける第一の半導体層3を構成する無機半導体材料は、好ましくは、半導体的性質を有する金属酸化物である。このような半導体的性質を有する金属酸化物は、(a) 酸化亜鉛、酸化チタン、酸化錫、酸化インジウム、酸化アルミニウム、酸化ニオブ、五酸化タンタル、チタン酸バリウム、及び、チタン酸ストロンチウムから選択されるn型半導体、(b) 酸化ニッケル、酸化コバルト、酸化鉄、酸化マンガン、酸化クロム、酸化ビスマスから選択されるp型半導体、或いは、(c) 請求項9に記載された1~4、前記(a)~(b)に記載された金属酸化物に不純物をドーピングして形成したn型半導体又はp型半導体で構成されている。

【0042】

前記金属酸化物、例えば、 $Z n O$ (酸化亜鉛)は、アンドープ、又は、III族元素であるAl(アルミニウム)、Ga(ガリウム)、In(インジウム)、B(ボロン)等をそれぞれドーブした場合には、n型で半導体的な性質を示し、キャリア濃度を制御可能であることが知られている。また、 $Z n O$ にN(窒素)をドーブしたものはp型半導体的性質を示すことが最近になって、報告されている。 $Z n O$ のエネルギーバンドギャップは、室温で3.3~3.6 eV程度であり、可視域で透明である。一方、有機材料でP型の半導体的な性質を示す $A l q_3$ は、HOMO準位が、5.7 eV、LUMO準位は、3.0 eVである。したがって、これらの半導体材料に電極材料の仕事関数を考慮して積層した場合、界面に形成される正孔と電子に対する障壁は、酸化物材料については、Mott-Schottkyモデルに従って、1 界面で両者の真空準位が揃い、2 両固

30

40

【0043】

本発明の縦型有機トランジスタにおける第二の有機半導体層5を構成する有機半導体材料は、例えば、1 ナフタレン、アントラセン、テトラセン、ペンタセン、ヘキサセン、及び、それらの誘導体から選択される少なくとも1種のアセン分子材料、2 銅フタロ

50

シアニン系化合物 (CuPc)、アゾ系化合物、ペリレン系化合物、及び、それらの誘導体から選択される少なくとも1種の顔料、3ヒドラゾン化合物、トリフェニルメタン化合物、ジフェニルメタン化合物、スチルベン化合物、アリールビニル化合物、ピラゾリン化合物、トリフェニルアミン誘導体 (TPD)、トリアリールアミン化合物、低分子量アリールアミン誘導体 (-NPD)、2,2,7,7-ジフェニルアミノ-スピロ-9,9-ビフルオレン (Spiro-TAD)、N,N-7-ジ-1-ナフチル-N,N-ジフェニル-4,4-ジアミノ-ビフェニル (Spiro-NPB)、4,4,4-トリス[3-メチルフェニル-(フェニル)-アミノ]-トリフェニル-アミン (mMTDATA)、2,2,7,7-テトラキス(2,2-ジフェニルビニル)スピロ-9,9-ビフルオレン (Spiro-DPVBi)、4,4,ビス(2,2-ジフェニルビニル)ビフェニル (DPVBi)、アルミニウム-トリソキシキノリン (Alq)、8-ヒドロキシキノリンアルミニウム (Alq<sub>3</sub>)、トリス(4-メチル-8-ヒドロキシキノレート)アルミニウム錯化合物 (Almq<sub>3</sub>)、及び、それらの誘導体から選択される少なくとも1種の低分子化合物、或いは、4ポリ-p-フェニレンビニレン (PPV)、ビフェニル基を有するポリマー (Biphenyl-Monomers)、ジアルコキシ基を有するポリマー (Dialkoxymonomers)、アルコキシ-フェニル-PPV、フェニル-PPV、フェニル-ジアルコキシ-PPVコポリマー、ポリ(2-メトキシ-5-(2-エチル-ヘキシルオキシ)-1,4-フェニレンビニレン) (MEH-PPV)、ポリ(エチレンジオキシチオフェン) (PEDOT)、ポリスチレンスルホン酸 (PSS)、PANI: 10

ポリアニリン (PANI)、ポリ-N-ビニルカルバゾール、ハロゲン化ポリ-N-ビニルカルバゾール、ポリビニルピレン、ポリビニルアントラセン、ピレンホルムアルデヒド樹脂、エチルカルバゾールホルムアルデヒド樹脂、及び、それらの変性体から選択される少なくとも1種の高分子化合物である。

#### 【0044】

前記縦型有機トランジスタにおける第二の半導体層5は、好ましくは、有機発光材料で構成されるが、このような有機発光材料は、好ましくは、前記Spiro-TAD、Spiro-NPB、mMTDATA、Spiro-DPVBi、DPVBi、Alq、Alq<sub>3</sub>、Almq<sub>3</sub>及び、それらの誘導体から選択される少なくとも1種の低分子化合物、或いは、PPV、アルコキシ-モノマー、アルコキシ-フェニル-PPV、フェニル-PPV、フェニル-ジアルコキシ-PPVコポリマー、MEH-PPV及び、それらの変性体から選択される少なくとも1種の高分子化合物である。

【0045】本発明の縦型有機トランジスタは、好ましくは、第二の半導体層5と第三の電極7との間に電荷輸送層6を有している。このような電荷輸送層6は、好ましくは、1トリフェニルアミン誘導体 (TPD)、トリアリールアミン化合物、低分子量アリールアミン誘導体 (-NPD)、2,2,7,7-ジフェニルアミノ-スピロ-9,9,9-ビフルオレン (Spiro-TAD)、N,N-7-ジ-1-ナフチル-N,N-ジフェニル-4,4-ジアミノ-ビフェニル (Spiro-NPB)、4,4,4-トリス[3-メチルフェニル-(フェニル)-アミノ]-トリフェニル-アミン (mMTDATA)、及び、それらの誘導体から選択される少なくとも1種の低分子化合物、或いは、2ポリ(エチレンジオキシチオフェン) (PEDOT)、ポリスチレンスルホン酸 (PSS)、ポリアニリン (PANI)、及び、それらの変性体から選択される少なくとも1種の高分子化合物で構成されている。

#### 【0046】

このように、本発明の縦型有機トランジスタの有機半導体層は、第二の半導体層5及び電荷輸送層6が前記したような有機半導体材料で構成されていると、有機トランジスタの全体の構造を小型化することができ、製造コストも低減化することができる。

#### 【0047】

また、前記有機半導体材料は、蒸着、化学蒸着、スピンコーティング、印刷、塗布・ベーク、エレクトロポリマライゼーション、分子ビーム付着、溶液からのセルフ・アセ

10

20

30

40

50

ンブリ、及び、これらの組合せよりなる群から選択され手段によって有機半導体層に形成される。それ故、本発明は、その有機半導体層の成膜において蒸着、塗布等の簡易な手段を採用することが可能となり、そのために、有機トランジスタの製造コストを低減化することができる。

【0048】

本発明の縦型有機トランジスタにおける第一の電極2、第二の電極4及び第三の電極7は、例えば、クロム(Cr)、タリウム(Ta)、チタン(Ti)、銅(Cu)、アルミニウム(Al)、モリブデン(Mo)、タングステン(W)、ニッケル(Ni)、金(Au)、パラジウム(Pd)、白金(Pt)、銀(Ag)、錫(Sn)、リチウム(Li)、カルシウム(Ca)、ITO等の導電性の酸化物、導電性ポリアニリン、導電性ポリピロール、導電性ポリチアジル、及び、導電性ポリマよりなる群から選択される少なくとも1種の材料で構成されている。第一の電極2、第二の電極4及び第三の電極7がこのような電極材料で構成されていると、接触抵抗を低減して電気特性を改善することができる。そして、これらの電極材料は、蒸着、スパッタリング、化学蒸着、電着、無電解メッキ、スピンコーティング、印刷、及び、塗布よりなる群から選択されたプロセスでゲート電極、ソース電極及びドレイン電極に形成される。

10

【0049】

本発明の縦型有機トランジスタにおける基板は、例えば、ガラス、プラスチック、石英、アンドープ・シリコン、及び、高ドーパ・シリコンよりなる群から選択される。また、本発明における基板は、プラスチック基板であってもかまわない。かかるプラスチック基板は、ポリカーボネート、マイラー、及び、ポリイミドを含む群から選択される。

20

【0050】

本発明におけるゲート電極は、100nm以下、好ましくは、40~60nmの膜厚のAl薄膜で形成される。また、本発明におけるソース電極及びドレイン電極は、100~500nmの膜厚の薄膜で形成される。

【0051】

[本発明の縦型有機トランジスタの製造例]

本発明の縦型有機トランジスタ(図1)は、図3に示されるように、

- 1 基板1の上面に電極材料を成膜して第一の電極(ドレイン電極)2を形成する工程(a)、
  - 2 前記第一の電極2の上面に無機半導体材料を成膜して第一の半導体層3を形成する工程(b)、
  - 3 前記第一の半導体層3の上面に電極材料を櫛状又はメッシュ状に成膜して第二の電極(ゲート電極)4を形成する工程(c)、
  - 4 前記第一の半導体層3の上端及び前記第二の電極4の上面に有機半導体材料を成膜して第二の半導体層5を形成する工程(d)、
  - 5 前記第二の半導体層の上面に電荷輸送材料を成膜して電荷輸送層6を形成する工程(e)、及び、
  - 6 前記電荷輸送層6の上面に電極材料を成膜して第三の電極(ソース電極)7を形成する工程(f)、
- を順次経て製造される。

30

40

【0052】

【実施例】

(実施例1)

(イ)透明な0.7mm厚のガラス基板(コーニング社製無アルカリガラス1737F)の上面にIn酸化物とSn酸化物とからなるITO透明電極をスパッタリングにより成膜して110nm厚の第1の電極(ドレイン電極)を形成した[図3(a)]。

(ロ)前記第一の電極の上面にn型半導体材料であるZnOを室温、 $1 \sim 3 \times 10^{-3}$  Torrの真空条件下においてスパッタリングして60nm厚の第一の半導体層を成膜した[図3(b)]。

50

(ハ) 前記第一の半導体層の上面にレジスト(東京応化社製、OFRR800)でストライプ状のパターニングをした後、Auを $1 \times 10^{-6}$  Torrの真空、抵抗加熱下において真空蒸着させることにより、ストライプ/スリット状に形成した50nm厚の第2の電極(ゲート電極)を成膜した[図3(c)]。

(ニ) 前記第2の電極及び第一の半導体層の上面に有機半導体発光材料であるAlq<sub>3</sub>を $2 \sim 3 \times 10^{-6}$  Torrの真空、抵抗加熱下において真空蒸着させることにより、100nm厚の第二の半導体層を成膜した[図3(d)]。

(ホ) 前記第二の半導体層の上面に電荷輸送材料である-NPDを $1.6 \times 10^{-6}$  Torrの真空、抵抗加熱下において真空蒸着させることにより、80nm厚の電荷輸送層を成膜した[図3(e)]。

(ヘ) 前記電荷輸送層の上面にAuを $1 \times 10^{-6}$  Torr、抵抗加熱下において真空蒸着させて100nm厚の第三の電極(ソース電極)を成膜した[図3(f)]。

このようにして得られた縦型有機トランジスタは、図4に示される構造を有している。なお、図4において、矢印は、エネルギー線の放射する方向を示している(以下、図5, 6においても同様のものを示している)。

#### 【0053】

##### (実施例2)

前記(イ)工程において、前記第一の電極の上面にn型半導体材料であるZnOを室温、 $1 \sim 3 \times 10^{-3}$  Torrの真空条件下でスパッタリングして60nm厚の膜厚に成膜することにより第1の電極(ドレイン電極)及び第一の半導体層を共有する層を形成した以外は、実施例1と同様にして縦型有機トランジスタを形成した。

このようにして得られた縦型有機トランジスタは、図6に示される構造を有している。

#### 【0054】

##### (実施例3)

前記(ハ)工程において、Ptを成膜して第2の電極(ゲート電極)を形成した以外は、実施例1と同様にして縦型有機トランジスタを形成した。

#### 【0055】

##### (実施例4)

前記(ハ)工程において、Pdを成膜して第2の電極(ゲート電極)を形成した以外は、実施例1と同様にして縦型有機トランジスタを形成した。

#### 【0056】

##### (実施例5)

前記(ニ)工程において、Spiro-NPBを成膜して第2半導体層を形成した以外は、実施例1と同様にして縦型有機トランジスタを形成した。

#### 【0057】

##### (実施例6)

前記(ニ)工程において、DPVBiを成膜して第2半導体層を形成した以外は、実施例1と同様にして縦型有機トランジスタを形成した。

#### 【0058】

##### (実施例7)

前記(ニ)工程において、Alq<sub>3</sub>を成膜して第2半導体層を形成した以外は、実施例1と同様にして縦型有機トランジスタを形成した。

#### 【0059】

##### (実施例8)

前記(ニ)工程において、Alq<sub>3</sub>を成膜して第2半導体層を形成した以外は、実施例1と同様にして縦型有機トランジスタを形成した。

#### 【0060】

##### (実施例9)

前記(ニ)工程において、PPV溶液を塗布により成膜して第2半導体層を形成した以外は、実施例1と同様にして縦型有機トランジスタを形成した。

10

20

30

40

50

## 【0061】

(実施例10)

前記(二)工程において、アルコキシフェニルPPV溶液を塗布により成膜して第2半導体層を形成した以外は、実施例1と同様にして縦型有機トランジスタを形成した。

## 【0062】

(実施例11)

前記(ホ)工程において、Spiro-TADを成膜して電荷輸送層を形成した以外は、実施例1と同様にして縦型有機トランジスタを形成した。

## 【0063】

(実施例12)

前記(ホ)工程において、-NPD層(80nm)を成膜し、続いて、CuPc層(30nm)を成膜して電荷輸送層を形成した以外は、実施例1と同様にして縦型有機トランジスタを形成した。

10

このようにして得られた縦型有機トランジスタは、図5に示される構造を有している。

## 【0064】

(実施例13)

前記(ホ)工程において、PEDOT溶液を塗布により成膜して電荷輸送層を形成した以外は、実施例1と同様にして縦型有機トランジスタを形成した。

## 【0065】

(実施例14)

前記(ホ)工程において、PPS溶液を塗布により成膜して電荷輸送層を形成した以外は、実施例1と同様にして縦型有機トランジスタを形成した。

20

## 【0066】

前記、実施例1で得られた縦型有機トランジスタの第一の電極と第二の電極との間のI-V特性をAu層/ZnO層/ITO層/ガラス基板の構造で測定したところ、図7に示される測定結果が得られた。そして、実施例1で得られた縦型有機トランジスタの第二の電極と第三の電極との間のI-V特性をAu層/Alq<sub>3</sub>層/ZnO層/ITO層の構造で測定したところ、図8に示される測定結果が得られた。また、第一の電極と第一の半導体層と第二の電極の間のI-V特性をITO層/ZnO層/Alの構造で測定したところ、図9に示される測定結果が得られた。また、実施例1で得られた縦型有機トランジスタの第一の電極と第三の電極との間のI-V特性をAu層/-NPD層/Alq<sub>3</sub>層/Au層/ZnO層/ITO層/ガラス基板の構造で測定したところ、図10に示される測定結果が得られた。

30

## 【0067】

以上、図7~9に示されるグラフからみると、図7, 8に示されるグラフは、それらのカーブが、いずれも、図10のグラフよりも1.0Vあたりから急激に立ち上がっているもので、前記縦型有機トランジスタの第一の電極と第二の電極(ゲート電極)との間にショットキー接合が確認できた。このように、前記縦型有機トランジスタは、第二の電極によるショットキー接合の空乏層により、ゲート間のポテンシャルを変化させ、それにより第一の電極側から第三の電極側へのキャリアの注入量を制御可能であることが明らかになった。また、前記有機トランジスタの第二の電極と第三の電極との間にショットキーダイオード接合が確認できた。その際、図7では、立ち上がり電圧は、1.0V程度であり、ブレークダウン電圧は、-3.5V程度であった。さらに、図8では、立ち上がり電圧は、1.2V程度であり、ブレークダウン電圧は、-3.0V程度であった。そして、図10より、前記縦型有機トランジスタのダイオード特性を確認した。その際、図10では、立ち上がり電圧は、40V程度であった。

40

したがって、本発明の縦型有機トランジスタによれば、第1の半導体層と第2の半導体層のpn接合による障壁と、第2の半導体層近傍のショットキー障壁とを利用しているので、1リーク電流の低減によってオン電流とフ電流との比が向上し、しかも、2第2電極(ゲート電極)からのキャリアの注入が低減され、それらのために、応答速度が向

50

上することがわかった。

【0068】

実施例2～14で得られた縦型有機トランジスタについても、前記実施例1で得られた縦型有機トランジスタと同様にI-V特性を測定したところ、前記実施例1で得られた縦型有機トランジスタとほぼ同様の測定結果が得られた。

【0069】

【発明の効果】

本発明によれば、基板上に、少なくとも、第一の電極、第一の半導体層、櫛状又はメッシュ状の第二の電極、第二の半導体層、及び、第三の電極を順次有する縦型有機トランジスタにおいて、前記第一の半導体層を無機半導体材料で構成し、そして、前記第二の半導体層を有機半導体材料で構成したので、1 トランジスタの電流経路であるチャネル長を膜厚（第一の半導体層と第二の半導体層との和）に対応して薄くすることにより、動作抵抗を低くして動作速度を向上させることができると共に、電流密度の向上ができ、しかも、無機半導体材料を用いたことによりさらに動作速度を向上させることができ、2 第二の電極近傍に形成したショットキー接触と2種類の半導体材料のHOMO準位の差による障壁、又は、LUMO準位の差による障壁を有効利用して、第二の電極と第一の電極、及び、第二の電極と第三の電極の間のリーク電流を低減可能すると共に、オン/オフ比を向上させることにより、応答速度を向上させることができ、3 櫛状又はメッシュ状の第二の電極の形成に、従来の2点蒸着法を使うことなく、フォトリソ工程、リフトオフ工程、及び、メタルエッチング工程が利用でき、そのために、スリット巾を1 $\mu$ m以下に高精細に加工でき、よって、大量生産に適した再現性の良い素子性能を有する縦型有機トランジスタが実現でき、そして、4 歩留まりが良く、そのために、製造コストを低減化することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態を示す縦型有機トランジスタの断面図である。

【図2】本発明の一実施の形態を示す縦型有機トランジスタにおけるキャリアのポテンシャルエネルギーの高さを示すグラフである。

【図3】本発明の一実施の形態を示す縦型有機トランジスタの製造工程図である。

【図4】実施例1で得られた縦型有機トランジスタの概略断面説明図である。

【図5】実施例12で得られた縦型有機トランジスタの概略断面説明図である。

【図6】実施例6で得られた縦型有機トランジスタの概略断面説明図である。

【図7】実施例1で得られた縦型有機トランジスタの第一の電極と第二の電極との間のI-V特性を測定したグラフである。

【図8】実施例1で得られた縦型有機トランジスタの第二の電極と第三の電極との間のI-V特性を測定したグラフである。

【図9】第一の電極と第一の半導体層と第二の電極の間のI-V特性を測定したグラフである。

【図10】実施例1で得られた縦型有機トランジスタの第一の電極と第三の電極との間のI-V特性を測定したグラフである。

【図11】SITの動作機構を説明する概略断面図である。

【符号の説明】

- 1 基板
- 2 第一の電極（ドレイン電極）
- 3 第一の半導体層
- 4 第二の電極（ゲート電極）
- 5 第二の半導体層
- 6 電荷輸送層
- 7 第三の電極（ソース電極）

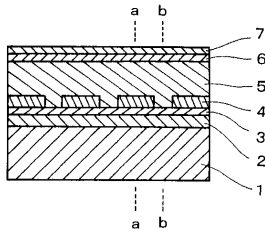
10

20

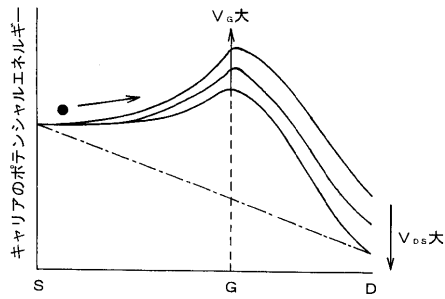
30

40

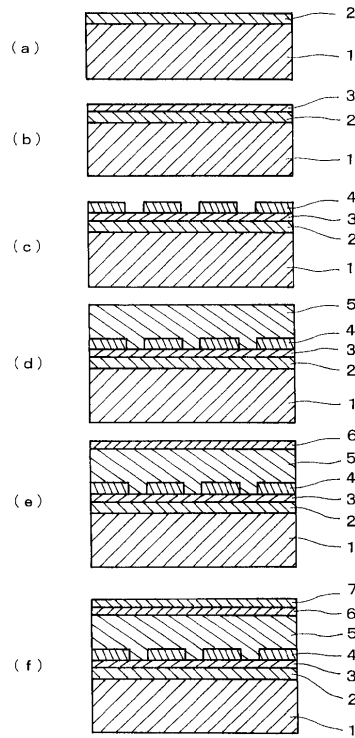
【図1】



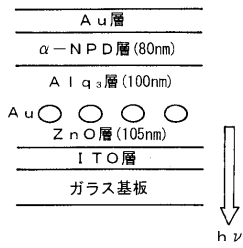
【図2】



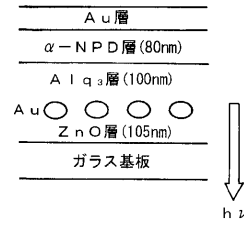
【図3】



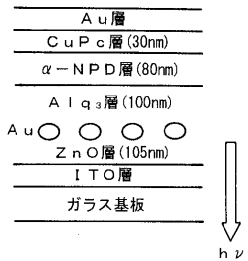
【図4】



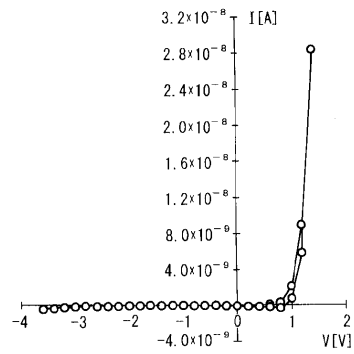
【図6】



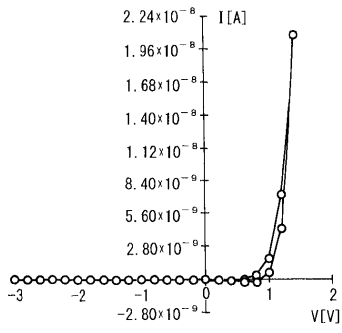
【図5】



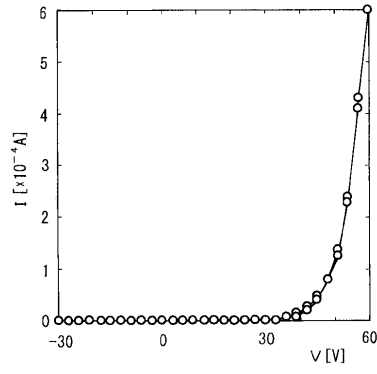
【図7】



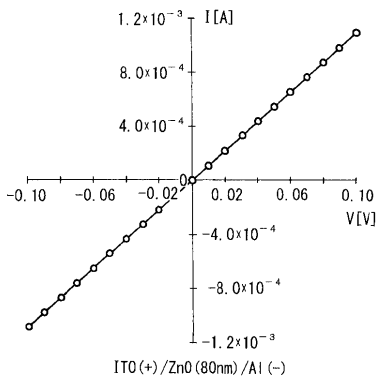
【 図 8 】



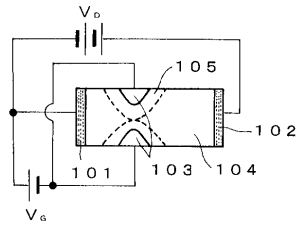
【 図 10 】



【 図 9 】



【 図 11 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 3K007 AB18 DB03 GA00  
5F102 FB01 GB04 GC08 GD01 GJ10 GL00 GS09 GS10