

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5182775号
(P5182775)

(45) 発行日 平成25年4月17日(2013.4.17)

(24) 登録日 平成25年1月25日(2013.1.25)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 29/68 (2006.01)

H O 1 L 29/68

H O 1 L 51/05 (2006.01)

H O 1 L 29/28 I O O A

H O 1 L 51/50 (2006.01)

H O 5 B 33/14 A

H O 5 B 33/26 (2006.01)

H O 5 B 33/26 Z

請求項の数 16 (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2006-78237(P2006-78237)
 (22) 出願日 平成18年3月22日(2006.3.22)
 (65) 公開番号 特開2007-258308(P2007-258308A)
 (43) 公開日 平成19年10月4日(2007.10.4)
 審査請求日 平成21年1月16日(2009.1.16)

特許法第30条第1項適用 2006年3月22日 社
 団法人応用物理学会発行の「2006年(平成18年)
 春季 第53回応用物理学関係連合講演会予稿集 第3
 分冊」に発表

(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許
 出願(平成15年度新エネルギー・産業技術総合開発機
 構「高効率有機デバイスの開発事業」委託研究、産業活
 力再生特別措置法第30条の適用を受けるもの)

(73) 特許権者 504176911
 国立大学法人大阪大学
 大阪府吹田市山田丘1番1号
 (73) 特許権者 000002897
 大日本印刷株式会社
 東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号
 (73) 特許権者 000005016
 パイオニア株式会社
 神奈川県川崎市幸区新小倉1番1号
 (73) 特許権者 000006747
 株式会社リコー
 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
 (73) 特許権者 000001889
 三洋電機株式会社
 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 トランジスタ素子及びその製造方法、電子デバイス、発光素子並びにディスプレイ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

エミッタ電極とコレクタ電極との間に、有機化合物で形成された半導体層及びシート状のベース電極が設けられたトランジスタ素子であって、

前記半導体層が、前記エミッタ電極と前記ベース電極との間、及び、前記コレクタ電極と前記ベース電極との間に設けられ、

少なくとも前記エミッタ電極と前記ベース電極との間又は前記コレクタ電極と前記ベース電極との間に有機系絶縁層又は無機系絶縁層である暗電流抑制層が設けられていることを特徴とするトランジスタ素子。

【請求項2】

前記暗電流抑制層が、前記コレクタ電極と前記ベース電極との間に設けられていることを特徴とする請求項1に記載のトランジスタ素子。

【請求項3】

前記暗電流抑制層と前記ベース電極とが隣接して設けられていることを特徴とする請求項1又は2に記載のトランジスタ素子。

【請求項4】

前記暗電流抑制層が、酸化ケイ素又は酸化アルミニウムで形成されていることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載のトランジスタ素子。

【請求項5】

前記暗電流抑制層が、前記ベース電極の化学反応によって形成されていることを特徴と

10

20

する請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載のトランジスタ素子。

【請求項 6】

前記暗電流抑制層の厚さが、20 nm 以下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トランジスタ素子。

【請求項 7】

前記半導体層が結晶性の有機半導体層であり、前記ベース電極が厚さ 40 nm 以下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トランジスタ素子。

【請求項 8】

前記有機半導体層の結晶粒径が、前記ベース電極の厚さ以上又は厚さ程度の大きさであって、前記ベース電極に凹凸形状を付与することができる大きさであることを特徴とする請求項 7 に記載のトランジスタ素子。

10

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載の有機トランジスタ素子をスイッチング素子として有することを特徴とする電子デバイス。

【請求項 10】

エミッタ電極とコレクタ電極との間に有機化合物で形成された半導体層及びシート状のベース電極が設けられ、前記半導体層が、前記エミッタ電極と前記ベース電極との間、及び、前記コレクタ電極と前記ベース電極との間に設けられたトランジスタ素子の製造方法であって、

前記ベース電極を化学反応させることにより、少なくとも前記エミッタ電極と前記ベース電極との間又は前記コレクタ電極と前記ベース電極との間に有機系絶縁層又は無機系絶縁層である暗電流抑制層を形成することを特徴とするトランジスタ素子の製造方法。

20

【請求項 11】

前記ベース電極を形成した後に当該ベース電極の一部を酸化させて前記暗電流抑制層を形成することを特徴とする請求項 10 に記載のトランジスタ素子の製造方法。

【請求項 12】

前記ベース電極を形成した後に当該ベース電極を加熱処理して前記暗電流抑制層を形成することを特徴とする請求項 10 に記載のトランジスタ素子の製造方法。

【請求項 13】

請求項 1 ~ 9 のいずれかに記載のトランジスタ素子のベース電極とコレクタ電極との間に有機 EL 層を有し、当該有機 EL 層が少なくとも発光層を 1 層以上含むことを特徴とする発光素子。

30

【請求項 14】

前記有機 EL 層が、正孔輸送層、電子輸送層、正孔注入層及び電子注入層から選ばれる 1 又は 2 以上の層を有することを特徴とする請求項 13 に記載の発光素子。

【請求項 15】

前記有機 EL 層が、励起子ブロック層を有することを特徴とする請求項 13 又は 14 に記載の発光素子。

【請求項 16】

請求項 13 ~ 15 のいずれかに記載の発光素子が、基板上に形成されていることを特徴とするディスプレイ。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、トランジスタ素子及びその製造方法並びに発光素子及びディスプレイに関し、更に詳しくは、エミッタ - コレクタ間に低電圧で大電流変調を可能とするトランジスタ素子及びその製造方法、並びにそのトランジスタ素子を有する発光素子及びディスプレイに関する。

【背景技術】

50

【 0 0 0 2 】

近年、有機トランジスタを用いたディスプレイの試作例がいくつか報告されているが、その多くは、有機電界効果型トランジスタ（有機 F E T ）と液晶又は電気泳動セルとを組合せたものであり、有機 E L を用いた例はほとんど報告されていない。これは、現状の有機 F E T では、電流駆動デバイスである有機 E L をスイッチングするだけの電流を流すのが難しいためである。そのため、より低電圧かつ大電流で動作する有機 F E T の開発が望まれている。

【 0 0 0 3 】

現在までに知られている有機材料の移動度を前提にした場合、それを実現するためにはチャンネル長を短くすることが必要であるが、ディスプレイの大量生産を視野に入れたバタ 10
ーニング技術では、チャンネル長を数 μm 以下にすることは難しい。この問題を解決するため、膜厚方向に電流を流すことにより低電圧かつ大電流で動作可能な「縦型トランジスタ構造」が研究されている。一般にサンドイッチデバイスに用いられる膜厚は数十 nm であり、しかも数 オーダーの高い精度で制御可能であることから、チャンネルを膜厚方向にすることによって、 $1\ \mu\text{m}$ 以下の短いチャンネル長を容易に実現できる。このような縦型の有機トランジスタとして、これまでに、ポリマーグリッドトライオード構造、静電誘導型トランジスタ（Static Induction Transistor, SIT）等が提案されている。

【 0 0 0 4 】

最近、単純な半導体 / 金属 / 半導体の積層構造を作製するだけで、高性能なトランジスタ特性を発現する有機トランジスタ素子が提案されている（非特許文献 1 を参照）。この 20
有機トランジスタ素子では、エミッタ電極から注入された電子が中間金属電極を透過することにより、パイポラトランジスタに似た電流増幅が観測され、その中間金属電極がベース電極のように働くことから、メタルベース有機トランジスタ（Metal-Base Organic Transistor, MBOT）と呼んでいる。

【非特許文献 1】S.Fujimoto, K.Nakayama, and M.Yokoyama, Appl. Phys. Lett., 87, 1 33503(2005)。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 5 】

しかしながら、上記トランジスタ動作は半導体 / 金属 / 半導体の積層構造を作製すれば 30
必ず観測されるというものではなかった。

【 0 0 0 6 】

本発明の目的は、エミッタ電極 - コレクタ電極間において、低電圧で大電流変調を可能とするトランジスタ素子を提供することにある。また、本発明の他の目的は、そうしたトランジスタ素子の製造方法を提供すること、また、当該トランジスタ素子有する発光素子及びディスプレイを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

（第 1 のトランジスタ素子）

上記課題を解決するための本発明の第 1 のトランジスタ素子は、エミッタ電極とコレク 40
タ電極との間に、半導体層とシート状のベース電極が設けられていることを特徴とする。また、本発明のトランジスタ素子において、前記半導体層が、前記エミッタ電極と前記ベース電極との間及び前記コレクタ電極と前記ベース電極との間に設けられていることを特徴とする。

【 0 0 0 8 】

この発明によれば、エミッタ電極とコレクタ電極との間に半導体層が設けられ、且つその半導体層中にシート状ベース電極が設けられているので、エミッタ電極とコレクタ電極との間にコレクタ電圧を印加し、さらにエミッタ電極とベース電極と間にベース電圧を印加すれば、そのベース電圧の作用により、エミッタ電極から注入された電荷（電子又は正 50
孔）が著しく加速されてベース電極を透過し、コレクタ電極に到達する。すなわち、ベー

ス電圧の印加によってエミッタ電極 - コレクタ電極間に流れる電流を増幅させることができる。そして、この発明によれば、シート状のベース電極は、エミッタ電極から供給された電荷をベース電圧で加速して弾道電子又は弾道正孔とし、その弾道電子又は弾道正孔をコレクタ電極側の半導体層内に容易に透過することができる範囲の厚さで全面に形成されるので、形成された全面で電荷が著しく加速され、しかも加速された電荷がベース電極を容易に透過することができる。一方、本発明者の研究によれば、ベース電極がシート状に設けられていない場合（すなわちベース電極が穴やクラック等の欠陥部を含む場合）、その欠陥部では、エミッタ電極から注入された電荷はあまり加速されないで、その部分の電荷はベース電極を透過し難くなり、その結果、エミッタ電極 - コレクタ電極間に流れる電流は全体としてあまり増幅させることができないとともに、各部位での電流量の増加にムラが生じてしまう。したがって、本発明のトランジスタ素子によれば、バイポーラトランジスタと同じような電流増幅作用を安定して得ることができる。

10

【 0 0 0 9 】

本発明の第 1 のトランジスタ素子において、前記ベース電極の厚さが、80 nm 以下であることを特徴とする。この発明によれば、ベース電極の厚さが 80 nm 以下であるので、ベース電圧 V_b で加速された弾道電子又は弾道正孔を容易に透過することができる。その結果、シート状のベース電極の全面で電荷が著しく加速され、しかも加速された電荷がベース電極を容易に透過することができる。なお、ベース電極は半導体層中に切れ目なく（穴やクラック等の欠陥部なく）設けられていればよいので、その厚さの下限は特に限定されないが、通常、1 nm 程度であればよい。

20

【 0 0 1 0 】

本発明の第 1 のトランジスタ素子において、前記ベース電極が、凹凸形状を有することを特徴とする。凹凸形状を有するベース電極（又は、表面粗さが粗いベース電極ということもできる。）は所定の平均厚さのベース電極を形成した場合であっても薄いところと厚いところを有するが、本発明によれば、ベース電極が凹凸形状を有する場合に、電流増幅作用を安定して得ることができる。

【 0 0 1 1 】

本発明の第 1 のトランジスタ素子において、前記コレクタ電極と前記ベース電極との間に設けられた半導体層が、結晶性の半導体層であることを特徴とする。コレクタ電極とベース電極との間に設けられた結晶性の半導体層はその表面が凹凸形状（又は、表面粗さが粗いということもできる。）であるので、その結晶性の半導体層上に設けられたベース電極も凹凸形状で形成される。凹凸形状を有するベース電極は所定の平均厚さのベース電極を形成した場合であっても薄いところと厚いところを有するが、本発明によれば、ベース電極が凹凸形状を有する場合に、電流増幅作用を安定して得ることができる。

30

【 0 0 1 2 】

本発明の第 1 のトランジスタ素子において、前記半導体層の結晶粒径が、前記ベース電極の厚さ以上又は厚さ程度の大きさであって、前記ベース電極に凹凸形状を付与することができる大きさであることを特徴とする。この発明によれば、上記結晶性の半導体層の結晶粒径がベース電極の厚さ以上又は厚さ程度の大きさであって該ベース電極に凹凸形状を付与することができる大きさであるので、その上にベース電極を形成すれば、凹凸形状を有するベース電極を容易に形成できる。

40

【 0 0 1 3 】

さらに、本発明の第 1 のトランジスタ素子において、（ 1 ）前記ベース電極が金属からなり、当該ベース電極の片面又は両面に当該ベース電極の酸化膜が形成されていること、（ 2 ）前記コレクタ電極と前記ベース電極との間に設けられた第 1 半導体層と、前記エミッタ電極と前記ベース電極との間に設けられた第 2 半導体層とが、異なる半導体材料で形成されていること、（ 3 ）前記第 1 半導体層及び前記第 2 半導体層が正孔輸送材料又は電子輸送材料で形成されてなること、（ 4 ）前記エミッタ電極と前記ベース電極との間又は前記コレクタ電極と前記ベース電極との間に設けられた半導体層が、有機化合物で形成されていること、（ 5 ）前記コレクタ電極と前記ベース電極との間に設けられた半導体層の

50

厚さ T_1 と、前記エミッタ電極と前記ベース電極との間に設けられた半導体層の厚さ T_2 との比(T_1/T_2)が、 $1/1 \sim 10/1$ の範囲内であること、(6)前記エミッタ電極と当該エミッタ電極に隣接する半導体層との間に、電荷注入層を有すること、又は、(7)前記電荷注入層が、LiF、Ca等のアルカリ金属又はその化合物を含むこと、が好ましい。

【0014】

(第2のトランジスタ素子)

本発明の第2のトランジスタ素子は、エミッタ電極とコレクタ電極との間に、半導体層とシート状のベース電極が設けられたトランジスタ素子であって、少なくとも前記エミッタ電極と前記ベース電極との間又は前記コレクタ電極と前記ベース電極との間に暗電流抑制層が設けられていることを特徴とする。

10

【0015】

この第2のトランジスタ素子は、上記第1のトランジスタ素子のエミッタ電極 - コレクタ電極間に例えば5Vの電圧 V_c を印加したとき、エミッタ電極 - ベース電極間に小さい電圧 V_b を印加した場合又は電圧 V_b を印加しない場合に、ベース電極 - コレクタ電極間に動作に必要な電流成分以外の漏れ電流が流れ、ON/OFF比が低下することがあるという問題を解決したものであり、その目的は、半導体層中に薄いシート状のベース電極を挿入したトランジスタ素子において、動作に必要な漏れ電流を抑制してON/OFF比を向上させたトランジスタ素子を提供することにある。

【0016】

20

この発明によれば、少なくともエミッタ電極とベース電極との間又はコレクタ電極とベース電極との間に暗電流抑制層が設けられているので、その暗電流抑制層により、エミッタ電極 - ベース電極間に小さい電圧 V_b を印加した場合又は電圧 V_b を印加しない場合に、ベース電極 - コレクタ電極間にトランジスタ動作に必要な電流成分以外の漏れ電流(「暗電流」(スイッチOFF時に流れる電流)という。)が流れるのを効果的に抑制することができ、その結果、ON/OFF比を向上させることができる。なお、暗電流抑制層は、例えばエミッタ電極 - ベース電極間に電圧 V_b を印加しない場合の暗電流は効果的に抑制できるが、エミッタ電極 - ベース電極間に電圧 V_b を印加した場合のいわゆるON電流はあまり妨げないように機能する。

【0017】

30

本発明の第2のトランジスタ素子において、前記暗電流抑制層が、前記コレクタ電極と前記ベース電極との間に設けられていることを特徴とする。また、前記暗電流抑制層と前記ベース電極とが隣接して設けられていることを特徴とする。これらの発明によれば、暗電流抑制層がコレクタ電極とベース電極との間に設けられていることにより、暗電流が流れるのを効果的に抑制することができ、その結果、ON/OFF比を向上させることができる。

【0018】

本発明の第2のトランジスタ素子において、(イ)前記暗電流抑制層が、有機系絶縁層又は無機系絶縁層であること、(ロ)前記暗電流抑制層が、有機系半導体層又は無機系半導体層であること、(ハ)前記暗電流抑制層が、酸化ケイ素又は酸化アルミニウムで形成されていること、(ニ)前記暗電流抑制層が、前記ベース電極の化学反応によって形成されていること、(ホ)前記暗電流抑制層の厚さが、20nm以下であること、又は、(ヘ)前記エミッタ電極と前記ベース電極との間又は前記コレクタ電極と前記ベース電極との間に設けられた半導体層が、有機化合物で形成されていること、が好ましい。

40

【0019】

(トランジスタ素子の製造方法)

本発明のトランジスタ素子の製造方法は、エミッタ電極とコレクタ電極との間に半導体層及びシート状のベース電極が設けられ、少なくとも前記エミッタ電極と前記ベース電極との間又は前記コレクタ電極と前記ベース電極との間に暗電流抑制層を形成する上記第2のトランジスタ素子の製造方法であって、前記ベース電極を化学反応させることにより、

50

前記暗電流抑制層を形成することを特徴とする。

【 0 0 2 0 】

本発明のトランジスタ素子の製造方法において、前記ベース電極を形成した後に当該ベース電極の一部を酸化させて前記暗電流抑制層を形成すること、又は、前記ベース電極を形成した後に当該ベース電極を加熱処理して前記暗電流抑制層を形成すること、が好ましい。これらの発明によれば、暗電流抑制層を容易に形成することができ、漏れ電流を抑制してON/OFF比を向上させたトランジスタ素子を容易に提供することができる。

【 0 0 2 1 】

(電子デバイス)

本発明の電子デバイスは、上記本発明の第1のトランジスタ素子をスイッチング素子として有するもの、又は、上記本発明の第2のトランジスタ素子をスイッチング素子として有するもの、であることが好ましい。本発明は、本発明の第1又は第2のトランジスタ素子をスイッチング素子として、例えば有機EL素子と組み合わせた電子デバイスとすることができる。

10

【 0 0 2 2 】

これらの発明によれば、上記第1又は第2のトランジスタ素子が低電圧で大電流変調が可能であることから、例えば有機ELのスイッチング素子である駆動トランジスタとして好ましく組み合わせてなる電子デバイスを提供できる。

【 0 0 2 3 】

(発光素子)

本発明の第1の発光素子は、上記本発明の第1のトランジスタ素子のベース電極とコレクタ電極との間に有機EL層を有し、当該有機EL層が少なくとも発光層を1層以上含むことを特徴とし、又、本発明の第2の発光素子は、上記本発明の第2のトランジスタ素子のベース電極とコレクタ電極との間に有機EL層を有し、当該有機EL層が少なくとも発光層を1層以上含むことを特徴とする。

20

【 0 0 2 4 】

近年、実用的な性能を示す有機発光トランジスタとしては、縦型の有機SITを用いたものが知られている(工藤一浩、「有機トランジスタの現状と将来展望」、応用物理、第72巻、第9号、第1151頁~第1156頁、2003年)が、その性能は未だ十分とはいえず、今後さらなる性能の向上が課題とされている。本発明の発光素子は、ベース電極とコレクタ電極との間に有機EL層を有し、その有機EL層が少なくとも1層以上の発光層を含むので、大電流による面状発光が可能になる。しかも、その場合、従来のSIT構造のようなベース電極の微細パターンングが不必要であるとともに、低電圧で大電流変調が可能であり、さらにON/OFF比を向上させることができるので、簡単な構造からなる実用的な発光素子を提供できる。

30

【 0 0 2 5 】

本発明の第1及び第2の発光素子において、(a)前記有機EL層が、正孔輸送層、電子輸送層、正孔注入層及び電子注入層から選ばれる1又は2以上の層を有すること、又は、(b)前記有機EL層が、励起子ブロック層を有すること、が好ましい。

【 0 0 2 6 】

(ディスプレイ)

本発明のディスプレイは、上記本発明の発光素子が、基板上に形成されていることを特徴とする。この発明によれば、実用的なディスプレイとなる。

40

【発明の効果】

【 0 0 2 7 】

本発明の第1のトランジスタ素子によれば、シート状のベース電極はベース電圧 V_b で加速された弾道電子又は弾道正孔を容易に透過することができる範囲の厚さで全面に形成されるので、形成された全面で電荷が著しく加速され、しかも加速された電荷がベース電極を容易に透過することができる。その結果、本発明の第1のトランジスタ素子は、バイポーラトランジスタと同じような電流増幅作用を安定して得ることができる。

50

【 0 0 2 8 】

本発明の第2のトランジスタ素子によれば、暗電流抑制層により、エミッタ電極 - ベース電極間に小さい電圧 V_b を印加した場合又は電圧 V_b を印加しない場合に、暗電流が流れるのを効果的に抑制することができるので、ON/OFF比を向上させることができ、トランジスタとしてのコントラストを向上させることができる。

【 0 0 2 9 】

また、本発明の第2のトランジスタ素子の製造方法によれば、暗電流抑制層を容易に形成することができ、漏れ電流を抑制してON/OFF比を向上させたトランジスタ素子を容易に提供することができる。

【 0 0 3 0 】

また、本発明の電子デバイスによれば、上記第1又は第2のトランジスタ素子が低電圧で大電流変調が可能であることから、例えば有機ELのスイッチング素子である駆動トランジスタとして好ましく組み合わせてなる電子デバイスを提供できる。

【 0 0 3 1 】

また、本発明の発光素子によれば、上記第1又は第2のトランジスタ素子を構成するベース電極とコレクタ電極との間に有機EL層を有し、その有機EL層が少なくとも1層以上の発光層を含むので、大電流による面状発光が可能になる。しかも、その場合、従来のSIT構造のようなベース電極の微細パターンングが不必要であるとともに、低電圧で大電流変調が可能であり、さらにON/OFF比を向上させることができるので、簡単な構造からなる実用的な発光素子を提供できる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 3 2 】

以下、本発明のトランジスタ素子及びその製造方法並びに発光素子及びディスプレイについて、第1のトランジスタ素子、第2のトランジスタ素子、第2のトランジスタ素子の製造方法、発光素子及びディスプレイの順で説明する。なお、これらの発明は、それぞれの技術的特徴を有すれば、種々の変形が可能であり、以下に具体的に示す実施形態に限定されるものではない。

【 0 0 3 3 】

(第1のトランジスタ素子)

図1は、本発明の第1のトランジスタ素子の一例を示す模式的な断面図である。本発明の第1のトランジスタ素子10は、図1に示すように、エミッタ電極3とコレクタ電極2との間に、半導体層5(5A, 5B)とシート状のベース電極4が設けられている。この半導体層5は、詳しくは、コレクタ電極2とベース電極4との間に設けられた第1半導体層5Aと、エミッタ電極3とベース電極4との間に設けられた第2半導体層5Bとを有している。なお、符号1は、基板を表している。こうした形態からなる第1のトランジスタ素子10は、縦型のトランジスタ素子でありながら、グリッドやストライプ等の微細電極のパターンングが必要ないという利点がある。

【 0 0 3 4 】

この第1のトランジスタ素子の具体例としては、例えば、厚さ100nmの透明ITO電極をコレクタ電極2とし、その上に、n型有機半導体であるペリレン顔料(Me-P TC、平均厚さ500nm)からなる第1半導体層5Aと、図示しないが酸化ケイ素からなる厚さ2.5nm又は5nmの暗電流抑制層と、アルミニウムからなる平均厚さ20nmのベース電極4と、フラーレン(C60、平均厚さ100nm)からなる第2半導体層5Bと、銀からなる平均厚さ30nmのエミッタ電極3とを、真空蒸着等の成膜手段でその順に積層した。ON電流とOFF電流は、エミッタ電極 - コレクタ電極間にコレクタ電圧 V_c を5V印加し、さらにエミッタ電極 - ベース電極間にベース電圧 V_b を印加したときと、印加しないときの、コレクタ電流 I_c 及びベース電流 I_b の変化量を測定して行った。

【 0 0 3 5 】

図2に示すように、ベース電圧 V_b が印加されないとき($V_b = 0$)は、エミッタ電極 - コレクタ電極間にほとんど電流が流れないが、ベース電圧 V_b の印加によって大幅に電流量が増加し、電流が変調されていることがわかる。そして、図2に示すように、 $V_c = 5\text{ V}$ 及び $V_b = 3\text{ V}$ のときの電流密度は、 350 mA/cm^2 に達しており、この電流密度は例えば有機ELを数千 cd/m^2 発光させるのに十分な大きな電流量である。一般的に、FET構造の場合には、ソース・ドレイン電圧、ゲート電圧ともに数十ボルトを要することから、本発明に係る第1のトランジスタ素子10が低電圧で大電流変調を実現できていることが容易に理解できる。また、このとき、ベース電極4は半導体層5に対して直接接触しているにもかかわらず、ほとんどベース電極4への電流の流入が起こらない。その結果、図3に示すように、コレクタ電流の変化に対するベース電流の変化の比率、すなわち電流増幅率(h_{FE})は1を超え、最大で170に達していた。このように本発明の第1のトランジスタ素子は、見かけ上バイポーラトランジスタと同様の電流増幅型のトランジスタ素子として有効に機能することが確認できた。

10

【0036】

すなわち、第1のトランジスタ素子10は、エミッタ電極3とコレクタ電極2との間に半導体層5(5A, 5B)が設けられ、且つその半導体層5中にシート状ベース電極4が設けられているので、図2及び図3に示すような本発明の第1のトランジスタ素子10のトランジスタ性能は、エミッタ電極3とコレクタ電極2との間にコレクタ電圧 V_c を印加し、さらにエミッタ電極3とベース電極4と間にベース電圧 V_b を印加すれば、そのベース電圧 V_b の作用により、エミッタ電極3から注入された電荷(電子又は正孔)が著しく加速されてベース電極4を透過し、コレクタ電極2に到達するという原理に基づくものである。すなわち、ベース電圧 V_b の印加によってエミッタ電極 - コレクタ電極間に流れる電流を増幅させることができる。そして、この第1のトランジスタ素子10では、シート状のベース電極4はベース電圧 V_b で加速された弾道電子又は弾道正孔を容易に透過することができる範囲の厚さで全面(図1においては所定の有効幅 W のことである。)に形成されるので、形成された全面で電荷が著しく加速され、しかも加速された電荷がベース電極4を容易に透過することができる。したがって、本発明の第1のトランジスタ素子10によれば、バイポーラトランジスタと同じような電流増幅作用を安定して得ることができる。

20

【0037】

以下に、本発明の第1のトランジスタ素子を構成する各層及び各電極について説明する。

30

【0038】

(基板)

図1においては、基板上に本発明の第1のトランジスタ素子が形成されているが、その基板1の種類や構造は特に限定されるものではなく、積層する各層の材質等により適宜決めることができ、例えば、Al等の金属、ガラス、石英又は樹脂等の各種の材料からなるものを用いることができる。後述する本発明に係る発光素子のように、光を基板1側から出射させるボトムエミッション構造の有機発光素子の場合には、透明又は半透明になる材料で基板が形成されることが好ましいが、光をエミッタ電極3側から出射させるトップエミッション構造の有機発光素子を作製した場合には、必ずしも透明又は半透明になる材料を用いる必要はなく、不透明材料で基板を形成してもよい。

40

【0039】

特に、有機EL素子の基板として一般的に用いられているもの、すなわち、有機EL素子を強度的に支持しているものを好ましく用いることができる。基板の材質は、用途に応じてフレキシブルな材質や硬質な材質等が選択される。具体的に用いることができる材料としては、例えば、ガラス、石英、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリエチレンテレフタレート、ポリメタクリレート、ポリメチルメタクリレート、ポリメチルアクリレート、ポリエステル、ポリカーボネート等を挙げることができる。また、基板1の形状としては、枚葉状でも連続状でもよく、具体的な形状としては、例えばカード状、フィルム状、デ

50

ISK状、チップ状等を挙げることができる。

【0040】

(電極)

本発明の第1のトランジスタ素子を構成する電極としては、コレクタ電極2、エミッタ電極3及びベース電極4があり、図1に示すように、通常、コレクタ電極2は基板1上に設けられ、ベース電極4は半導体層5(第1半導体層5A及び第2半導体層5B)内に埋め込まれるように設けられ、エミッタ電極3はコレクタ電極2と対向する位置に半導体層5とベース電極4を挟むように設けられる。電極材料としては、金属、導電性酸化物、導電性高分子等の薄膜が用いられる。なお、基板1とコレクタ電極2との間にはバリア層や平滑層等が設けられていてもよい。

10

【0041】

例えば本発明の第1のトランジスタ素子を構成する半導体層5が有機化合物からなる電子輸送層である場合、コレクタ電極2の形成材料としては、例えば、ITO(インジウム錫オキサイド)、酸化インジウム、IZO(インジウム亜鉛オキサイド)、 SnO_2 、 ZnO 等の透明導電膜、金、クロムのような仕事関数の大きな金属、ポリアニリン、ポリアセチレン、ポリアルキルチオフェン誘導体、ポリシラン誘導体のような導電性高分子等を挙げることができる。一方、エミッタ電極3の形成材料としては、アルミ、銀等の単体金属、MgAg等のマグネシウム合金、AlLi、AlCa、AlMg等のアルミニウム合金、Li、Caをはじめとするアルカリ金属類、それらアルカリ金属類の合金のような仕事関数の小さな金属等を挙げることができる。

20

【0042】

一方、本発明の第1のトランジスタ素子を構成する半導体層5が有機化合物からなる正孔輸送層である場合には、上記のコレクタ電極2の形成材料と上記のエミッタ電極3の形成材料とは逆になる。

【0043】

また、ベース電極4は半導体層5の構成材料とショットキー接触を形成するので、ベース電極4の形成材料としては、上記コレクタ電極2やエミッタ電極3に用いられる電極と同様の電極を挙げることができる。ベース電極4は、エミッタ電極3から供給された電荷をコレクタ電極2側の第1半導体層5A内に強制的に供給するように作用するので、ベース電極4の形成材料としては、必ずしも第1半導体層5Aに電荷を注入し易い材料である必要はない。しかし、コレクタ電極2側の第1半導体層5Aが正孔注入層又は正孔注入材料を有する層である場合には、仕事関数が小さい材料でベース電極4を形成することが好ましく、一方、その第1半導体層5Aが電子注入層又は電子注入材料を有する層である場合には、仕事関数が大きい材料でベース電極4を形成することが好ましい。こうしたベース電極4の形成材料としては、例えば、アルミ、銀等の単体金属、MgAg等のマグネシウム合金、AlLi、AlCa、AlMg等のアルミニウム合金、Li、Caをはじめとするアルカリ金属類、LiF等のアルカリ金属類の合金のような仕事関数の小さな金属等を好ましく使用することができるが、電荷(正孔、電子)注入層とショットキー接触を形成することが可能であれば、ITO(インジウム錫オキサイド)、酸化インジウム、IZO(インジウム亜鉛オキサイド)、 SnO_2 、 ZnO 等の透明導電膜、金、クロムのような仕事関数の大きな金属、ポリアニリン、ポリアセチレン、ポリアルキルチオフェン誘導体、ポリシラン誘導体のような導電性高分子等も使用することができる。

30

40

【0044】

なお、後述する本発明に係る発光素子のように、光を基板1側から出射させるボトムエミッション構造の有機発光素子の場合には、少なくともコレクタ電極2を透明又は半透明の材料で形成することが好ましく、一方、光をエミッタ電極3側から出射させるトップエミッション構造の有機発光素子を作製する場合には、ベース電極4とエミッタ電極3を透明又は半透明の材料で形成することが好ましい。こうした構成により、光取り出し効率を向上させることができ。透明又は半透明の電極材料としては、ITO(インジウム錫オキサイド)、酸化インジウム、IZO(インジウム亜鉛オキサイド)、 SnO_2 、 ZnO 等

50

の透明導電膜が好ましく用いられる。

【 0 0 4 5 】

上記の各電極のうちコレクタ電極 2 とエミッタ電極 3 については、真空蒸着、スパッタリング、CVD 等の真空プロセスあるいは塗布により形成され、その膜厚は使用する材料等によっても異なるが、例えば 10 nm ~ 1000 nm 程度であることが好ましい。これらの膜厚は、厚さ方向の試料断面を透過型電子顕微鏡 (TEM) により 5 箇所の平均値を測定したものである。

【 0 0 4 6 】

図 4 は、ベース電極 4 の厚さ以外は上記図 2 及び図 3 で測定したトランジスタ素子と同じ構成のものをを用いた場合において、変調電流量 I_c (図 4 (A)) 及び電流増幅率 h_{FE} (図 4 (B)) の、ベース電極 4 の膜厚依存性を示したグラフである。また、図 5 は、ベース電極 4 の厚さを変化させた際における電流透過率を示したグラフである。図 5 に示す電流透過率は、 $[I_c \text{ (コレクタ電極に到達した電荷)}] / [I_c + I_b \text{ (エミッタ電極から注入された電荷)}]$ により表される。

【 0 0 4 7 】

図 4 に示すように、変調電流量 I_c 及び電流増幅率 h_{FE} は、いずれもベース電極 4 が厚くなるのとともに急激に減少しており、十分なトランジスタ性能を得るためには、薄いベース電極 4 が必要不可欠であることが分かる。このとき、コレクタ電極 2 に到達した電荷に対する、エミッタ電極 3 から注入された電荷の比率である、電流透過率を算出すると、図 5 に示すように、ベース電極 4 の厚さが 40 nm 以下では、99% 程度の非常に高い値を示していることが分かった。これは、エミッタ電極 3 からの電荷がほとんど全てベース電極 4 を透過していることを意味しており、その結果、パイポーラトランジスタと同様の電流増幅作用が得られているものと考えられる。

【 0 0 4 8 】

したがって、ベース電極 4 については、その厚さを 40 nm 以下とすることが好ましいが、図 4 に示すように、80 nm 未満とした場合であっても使用可能である。40 nm 以下の厚さはベース電圧 V_b で加速された弾道電子又は弾道正孔を半導体層内に容易に透過させる厚さであるので、シート状のベース電極 4 の全面で電荷 (電子又は正孔) が著しく加速され、しかも加速された電荷がベース電極 4 を容易に透過することができる。なお、ベース電極 4 は半導体層 5 中に切れ目なく (穴やクラック等の欠陥部なく) 設けられてい

【 0 0 4 9 】

図 6 は、ベース電極 4 の形成材料を変更した場合の、エミッタ電極 3 からの注入電流 (図 6 (A)) と、コレクタ電極 2 への到達電流 (図 6 (B)) とに対するベース電圧依存性を示すグラフである。なお、このグラフは、ベース電極 4 の厚さを 40 nm とした以外は上記図 2 及び図 3 で測定したトランジスタ素子と同じ構成のものをを用いて測定したものである。図 6 に示すように、ベース電圧 V_b を変化させた場合であっても、エミッタ電極 3 からの注入電流とコレクタ電極 2 への到達電流とはほぼ同じであり、電流透過率 $[I_c / (I_c + I_b)]$ は、ベース電極 4 の材料を LiF / Al、Au、Ag とした各試料において、0.99 の高確率でベース電極 4 を透過していることがわかった。

【 0 0 5 0 】

また、図 6 に示すように、ベース電極 4 の材料を LiF (厚さ 0.5 nm) / Al (厚さ 100 nm)、Au (厚さ 30 nm)、Ag (厚さ 30 nm) とした各試料を対比すると、電流値の大きさが異なり、LiF / Al が最も高く、Ag、Au の順に低くなっていた。この結果から、ベース電極 4 の材料により電流値の大きさはことなるが、電流透過率に対する材料依存性は小さいことがわかった。

【 0 0 5 1 】

ベース電極 4 がシート状に設けられ、且つその厚さが所定の厚さ以下である場合に高い電流透過率を示すメカニズムは必ずしも明確ではないが、現時点では以下のメカニズム

が考えられる。

【 0 0 5 2 】

本発明においては、ベース電極 4 がシート状に設けられている場合（すなわちベース電極 4 が穴やクラック等の欠陥部を含まない場合）、エミッタ電極 3 から注入された電荷がシート状のベース電極 4 全面で加速され、エミッタ電極 3 から注入された電荷のほとんど全てが弾道電子又は弾道正孔となってベース電極 4 を透過すると考えられる。その結果、コレクタ電極に到達した電荷の量がエミッタ電極から注入された電荷の量とほぼ同じになって、全体として著しい電流増幅作用を示すと考えられる。一方、本発明者の研究によれば、ベース電極 4 がシート状に設けられていない試料（すなわちベース電極 4 が穴やクラック等の欠陥部を含む試料）を作製した場合においては、結果として、コレクタ電極に到達した電荷の量はエミッタ電極から注入された電荷の量よりも少なく、ON/OFF 比も小さくなることを確認している。その原因としては、その欠陥部ではエミッタ電極 3 から注入された電荷を加速できず、その部分の電荷はベース電極 4 を透過し難くなり、各部位での電流量の増加にムラが生じてしまうと考えられる。

10

【 0 0 5 3 】

また、ベース電極 4 が所定の厚さ以下である場合に高い電流透過率を示すが、これは、エミッタ電極 3 から注入された電荷がベース電極 4 を弾道電子又は弾道正孔として透過することによるものと考えられる。つまり、薄いベース電極 4 が、パイポラトランジスタのベース層と同じような働き（すなわち、ベースへのキャリア流入を防ぎつつエミッタ電流の増加だけを引き起こすという作用）を受け持つと考え、図 7 に示すエネルギーダイヤグラムを提案する。図 7 からわかるように、エミッタ電極 - ベース電極間に印加されたベース電圧 V_b によって、エミッタ電極 3 から C 6 0 からなる第 2 半導体層 5 B への電荷注入電流が増大し、その電荷がベース電極 4 に落ち込むことなく、Me-PCl からなる第 1 半導体層 5 A の伝導帯に高い確率で到達してコレクタ電極 2 に収集された結果、大きなコレクタ電流変調が得られたものと考えられる。電荷がベース電極 4 中を弾道的に透過できる距離（電子又は正孔の平均自由行程）は一般的には数 nm から数十 nm 程度と言われているが、これは上記 40 nm 以下の厚さが好ましいという本発明の実験結果とほぼ一致する。

20

【 0 0 5 4 】

また、ベース電極 4 を凹凸形状を有するものとすることができる。この凹凸形状を有するベース電極 4 は、表面粗さが粗いベース電極ということもできるが、こうしたベース電極 4 は、所定の平均厚さのベース電極を形成した場合であっても薄いところと厚いところを有する。こうした構成からなるベース電極は、電流増幅作用を安定して得ることができる点で好ましい。なお、凹凸形状からなる表面形状は、接触式表面形状測定装置（メーカー：SLOAN TECHNOLOGY、型番：DEKTAK3）又は、AFM（Seiko Instruments, SPI3800）で評価した。

30

【 0 0 5 5 】

例えば、コレクタ電極 2 とベース電極 4 との間に設けられた第 1 半導体層 5 A を、結晶性の有機化合物で真空蒸着した場合には、ベース電極 4 が形成される側の第 1 半導体層 5 A の表面は凹凸形状となっている。そのため、その結晶性の第 1 半導体層 5 A 上に設けられたベース電極 4 も凹凸形状で形成される。凹凸形状を有するベース電極 4 は所定の平均厚さのベース電極 4 を形成した場合であっても薄いところと厚いところを有するが、本発明によれば、ベース電極 4 が凹凸形状を有する場合に、電流増幅作用を安定して得ることができる。

40

【 0 0 5 6 】

結晶性の半導体層を構成する材料としては、上記図 2 又は図 3 の結果を示すトランジスタ素子の構成材料である、n 型有機半導体であるペリレン顔料（Me-PTC）を好ましく挙げることができる。また、他の材料としては、後述の化学式で示す C 6 0、NTCD A、PTCDA 若しくは Ph-Et-PTC を挙げることができる。また、これら以外の有機化合物であってもよい。この n 型有機半導体であるペリレン顔料（Me-PTC、厚

50

さ400nm)を真空蒸着で形成した際の、ベース電極4側の表面は、X線回折法で測定した結果、明確な結晶性ピークが得られた。また、C60、NTCDA、PTCDA若しくはPh-Et-PTCにおいても、X線回折法で測定した結果、結晶性ピークが得られた。なお、上記図2又は図3の結果を示すトランジスタ素子の結晶性の半導体層5Aの表面粗さはその上に設けられるベース電極4の表面粗さに反映された。したがって、上記図2又は図3の結果を示すトランジスタ素子のベース電極4が所定の表面粗さ(凹凸形状)を有する場合に、電流増幅作用を安定して得ることができることを確認できた。

【0057】

なお、結晶性の半導体層の結晶粒径は、透過型電子顕微鏡で測定でき、その結晶粒径は、ベース電極4の厚さ以上又は厚さ程度の50nm又はそれ以上であった。このように、結晶性の第1半導体層5Aの結晶粒径をベース電極4の厚さ以上となるようにすれば、その第1半導体層5A上にベース電極4を形成することにより、凹凸形状を有するベース電極を容易に形成できる。結晶性の半導体層の表面粗さRzは、AFM(Seiko Instruments, SPI3800)で評価し、Me-PTCでは200nm~400nm程度であり、NTCDAでは300nm~500nmであり、C60では50nm~100nmであった。Rzは、JIS B 0601に準拠した。

【0058】

また、ベース電極4が金属からなり、そのベース電極4の片面又は両面にベース電極5の酸化物薄膜が形成されているように構成することもできる。また、半導体層5(5A, 5B)上に電極を成膜する場合は、電極成膜時にその半導体層5に加わるダメージを軽減するための保護層(図示しない)を半導体層5上に設けてもよい。保護層としては、例えばAu、Ag、Al等の半透明膜やZnS、ZnSe等の無機半導体膜等の蒸着膜又はスパッタ膜のように、成膜時にダメージを与え難いものが1~500nm程度の厚さで予め成膜されることが好ましい。

【0059】

(半導体層)

本発明の第1のトランジスタ素子を構成する半導体層5としては、種々の半導体材料を例示でき、通常は電荷輸送特性の良い電荷輸送材料を例示できる。その形態としては、(i)コレクタ電極2とベース電極4との間に設けられた第1半導体層5Aと、エミッタ電極3とベース電極4との間に設けられた第2半導体層5Bとが、異なる半導体材料で形成されていること、(ii)第1半導体層5A及び第2半導体層5Bが正孔輸送材料又は電子輸送材料で形成されてなること、(iii)エミッタ電極3とベース電極4との間又はコレクタ電極2とベース電極4との間に設けられた半導体層5A, 5Bのいずれもが、有機化合物で形成されていること、(iv)コレクタ電極2とベース電極4との間に設けられた第1半導体層5Aの厚さT1と、エミッタ電極3とベース電極4との間に設けられた第2半導体層5Bの厚さT2との比(T1/T2)が、1/1~10/1の範囲内であること、好ましくは3/1~7/1の範囲内であること、(v)エミッタ電極3と、エミッタ電極3に隣接する第2半導体層5Bとの間に、電荷注入層を有すること、又は、(vi)その電荷注入層が、LiF、Ca等のアルカリ金属又はその化合物で形成されていること、が好ましい。

【0060】

半導体層5(5A, 5B)の形成材料としては、後述の実験例で用いたAlq₃、C60、NTCDA、PTCDA、Me-PTC、若しくはPh-Et-PTCを挙げることができ、また、アントラキノジメタン、フルオレニリデンメタン、テトラシアノエチレン、フルオレノン、ジフェノキノンオキサジアゾール、アントロン、チオピランジオキシド、ジフェノキノン、ベンゾキノン、マロニトリル、ニジトロベンゼン、ニトロアントラキノン、無水マレイン酸若しくはペリレンテトラカルボン酸、又はこれらの誘導体等、電荷輸送材料として通常使用されるものを用いることができる。また、コレクタ電極2とベース電極4との間に設けられた第1半導体層5Aにおいては、後述する本発明の発光素子の説明欄で列記した発光層形成材料を用いてもよい。

【0061】

半導体層5(5A, 5B)の電荷移動度は、なるべく高いことが望ましく、少なくとも

、 $0.001 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上であることが望ましい。また、コレクタ電極 2 側の第 1 半導体層 5 A の厚さは、通常、 $300 \text{ nm} \sim 1000 \text{ nm}$ 程度を挙げることができるが、好ましくは $400 \text{ nm} \sim 700 \text{ nm}$ 程度である。なお、その厚さが 300 nm 未満の場合又は 1000 nm を超える場合は、トランジスタ動作を生じないことがある。一方、エミッタ電極 3 側の第 2 半導体層 5 B の厚さは、通常、 500 nm 程度以下を挙げることができるが、好ましくは $50 \text{ nm} \sim 150 \text{ nm}$ 程度である。なお、その厚さが 50 nm 未満の場合は、導通の問題が発生して歩留まりが低下することがある。

【0062】

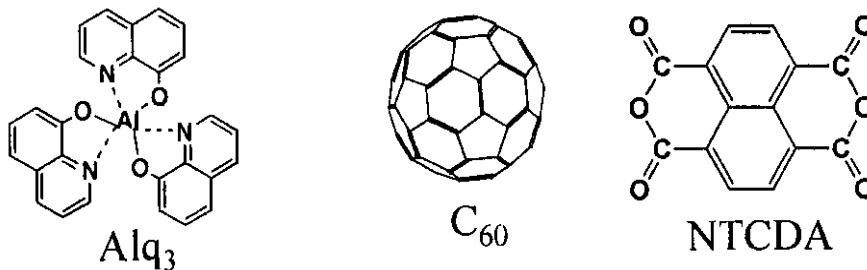
コレクタ電極 2 とベース電極 4 との間に設けられる第 1 半導体層 5 A の形成材料として、下記の各有機化合物を用いて実験を行った。実験は、厚さ 100 nm の透明 ITO 電極をコレクタ電極 2 とし、その上に、下記の 5 種の化合物 (Alq₃、C₆₀、NTCDA、PTCDA、Me-PTC) から選択した 1 種からなる第 1 半導体層 5 A と、アルミニウムからなる平均厚さ 20 nm のベース電極 4 と、フラーレン (C₆₀、平均厚さ 100 nm) からなる第 2 半導体層 5 B と、銀からなる平均厚さ 30 nm のエミッタ電極 3 とを、真空蒸着等の成膜手段でその順に積層したトランジスタ素子を用いた。第 1 半導体層 5 A の厚さは、Alq₃、C₆₀ においては 100 nm とし、NTCDA、PTCDA、Me-PTC においては 100 nm とした。

【0063】

こうして作製した 5 種のトランジスタ素子について、コレクタ電圧 V_c を 5 V とし、ベース電圧 V_b を $0 \text{ V} \sim 3 \text{ V}$ の範囲で変調させた。出力変調特性の測定は、図 2 及び図 3 の場合と同様、エミッタ電極 - コレクタ電極間にコレクタ電圧 V_c を印加し、さらにエミッタ電極 - ベース電極間にベース電圧 V_b を印加した時の、コレクタ電流 I_c 及びベース電流 I_b の変化量を測定して行った。また、コレクタ電流の変化に対するベース電流の変化の比率、すなわち電流増幅率 (h_{FE}) を算出した。表 1 は、その結果を示している。

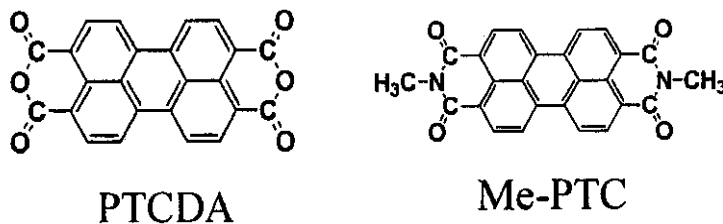
【0064】

【化 1】



【0065】

【化 2】



【0066】

【表 1】

	$\Delta I_c(\text{mA}/\text{cm}^2)$	h_{FE}	ON-OFF 比
Alq_3	-	-	-
C_{60}	0.0075	~1	1.5
NTCDA	4.65	15	40
PTCDA	175	46	20
Me-PTC	300	200	100

10

【0067】

表 1 に示すように、 C_{60} からなる第 2 半導体層 5 B に対して、 Alq_3 や C_{60} からなる第 1 半導体層 5 A を形成した場合には、十分な結果を得ることができなかった。また、NTCDA や PTCDA からなる第 1 半導体層 5 A を形成した場合の電流増幅率 (h_{FE}) は、電流増幅が認められ、それぞれ 15、46 であった。一方、Me-PTC からなる第 1 半導体層 5 A を形成した場合の電流増幅率 (h_{FE}) は、200 という著しく高い値を示した。このように、本発明の第 1 のトランジスタ素子を構成する半導体層 5 (5 A, 5 B) には、電荷輸送材料を用いることができるが、詳細には、材料の組み合わせにより高い電流増幅作用を生じさせることができる。そして、その組み合わせは、現時点では、図 7 に示すように、半導体材料の LUMO の位置が関係していると考えられるので、その点を考慮して組み合わせることが望ましい。

20

【0068】

表 1 には、コレクタ電圧 V_c を 5 V とし、ベース電圧 V_b の ON 電圧を 3 V、OFF 電圧を 0 V としたときの、ON/OFF 比の測定結果も併せて示した。表 1 に示したように、ON/OFF 比は、NTCDA や PTCDA からなる第 1 半導体層 5 A を形成した場合は、大きな値となり、それぞれ 40、20 であった。一方、Me-PTC からなる第 1 半導体層 5 A を形成した場合の ON/OFF 比は、100 という著しく高い値を示した。

【0069】

このように本発明の第 1 のトランジスタ素子は、見かけ上バイポーラトランジスタと同様の電流増幅型のトランジスタ素子として有効に機能することが確認できた。

30

【0070】

(第 2 のトランジスタ素子)

次に、本発明の第 2 のトランジスタ素子について説明する。図 8 は、本発明の第 2 のトランジスタ素子の一例を示す模式的な断面図であり、図 9 は、本発明の第 2 のトランジスタ素子の他の一例を示す模式的な断面図である。本発明の第 2 のトランジスタ素子 20, 30 は、エミッタ電極 3 とコレクタ電極 2 との間に、半導体層 5 とシート状のベース電極 4 が設けられたトランジスタ素子であって、少なくともエミッタ電極 3 とベース電極 4 との間又はコレクタ電極 2 とベース電極 4 との間に、暗電流抑制層 6, 7 が設けられている。図 8 においては、コレクタ電極 2 とベース電極 4 との間に暗電流抑制層 6 が設けられており、図 9 においては、コレクタ電極 2 とベース電極 4 との間に暗電流抑制層 6 が設けられ、さらにエミッタ電極 3 とベース電極 4 との間にも暗電流抑制層 7 が設けられている。なお、第 2 のトランジスタ素子は、上記第 1 のトランジスタ素子と比較して、暗電流抑制層が設けられている点が異なりその他の点は上記第 1 のトランジスタ素子と同じであるので、図 8 及び図 9 並びに以下の説明においては、同一の符号を用いてその説明を省略する。また、図 8 及び図 9 では基板は省略して図示している。

40

【0071】

図 10 は、図 8 の第 2 のトランジスタ素子 20 の場合における ON 電流と OFF 電流の経路を示したものであり、図 11 は、図 9 の第 2 のトランジスタ素子 30 の場合における

50

ON電流とOFF電流の経路を示したものである。これらの第2のトランジスタ素子20, 30は、上記第1のトランジスタ素子10のエミッタ電極 - コレクタ電極間に例えば5Vのコレクタ電圧 V_c を印加したとき、エミッタ電極 - ベース電極間に小さいベース電圧 V_b を印加した場合又はベース電圧 V_b を印加しない場合($V_b = 0V$)にベース電極 - コレクタ電極間に動作に必要な電流成分以外の漏れ電流が流れ、ON/OFF比が低下することがあるという問題を解決したものである、そして、上記のように、半導体層5中に形成された薄いシート状のベース電極4の一方又は両面に暗電流抑制層(6, 7)を形成することにより、動作に必要な漏れ電流を抑制してON/OFF比を向上させたトランジスタ素子である。

【0072】

10

本発明の第2のトランジスタ素子20, 30によれば、図10及び図11に示すように、少なくともエミッタ電極3とベース電極4との間又はコレクタ電極2とベース電極4との間に暗電流抑制層(6, 7)が設けられているので、その暗電流抑制層により、エミッタ電極 - ベース電極間に小さい電圧 V_b を印加した場合又は電圧 V_b を印加しない場合に、ベース電極 - コレクタ電極間にトランジスタ動作に暗電流が流れるのを効果的に抑制することができ、その結果、ON/OFF比を向上させることができる。なお、暗電流抑制層6, 7は、例えばエミッタ電極 - ベース電極間に電圧 V_b を印加しない場合の暗電流は効果的に抑制できるが、エミッタ電極 - ベース電極間に電圧 V_b を印加した場合のいわゆるON電流はあまり妨げないものを用いることが望ましい。

【0073】

20

暗電流抑制層6, 7は、ベース電圧 V_b をOFFにした際に、コレクタ電圧 V_c によって生じたエミッタ電流がベース電極4を透過しないように作用するので、図8に示すように少なくともコレクタ電極2とベース電極4との間に設けられる。なお、必要に応じてベース電極4の両面に暗電流抑制層7を設けることができる。また、形成する暗電流抑制層は、ベース電極4に隣接して(すなわち、ベース電極4に接触するように)設けられていることが好ましい。

【0074】

暗電流抑制層としては、ベース電極4に一樣に形成されていることが好ましい。ここで、「一樣に」とは、穴や切れ目がなく全面に形成されていることをいう。暗電流抑制層の厚さが薄すぎると、一樣な暗電流抑制層を成膜し難いという難点があり、暗電流抑制層の厚さが厚すぎると、ベース電圧 V_b をON状態にしたときの電流も顕著に抑制されることがある。

30

【0075】

暗電流抑制層の形成材料としては、有機系絶縁層や無機系絶縁層を挙げることができるが、上記厚さで成膜できることと暗電流抑制層としての作用効果を奏することを条件に以下の具体例を挙げることができる。例えば、 SiO_2 、 SiN_x 、 Al_2O_3 等の無機材料や、ポリクロロピレン、ポリエチレンテレフタレート、ポリオキシメチレン、ポリビニルクロライド、ポリフッ化ビニリデン、シアノエチルプルラン、ポリメチルメタクリレート、ポリビニルフェノール、ポリサルホン、ポリカーボネート、ポリイミド等の有機材料等を挙げることができる。なお、これらの形成材料は、単独で用いてもよいし、2種以上の材料を用いてもよい。

40

【0076】

また、暗電流抑制層の形成材料として、有機系半導体材料を用いてもよいし、無機系半導体材料を用いてもよい。これらの材料から、上記厚さで成膜できることと暗電流抑制層としての作用効果を奏することを条件に最適なものが選定される。これらの形成材料も上記同様、単独で用いてもよいし、2種以上の材料を用いてもよい。

【0077】

図12は、暗電流抑制層として酸化ケイ素膜を形成した場合でのON電流と、ON/OFF比の実験結果を示すグラフである。実験は、厚さ100nmの透明ITO電極をコレクタ電極2とし、その上に、Me-PTCからなる第1半導体層5A(厚さ400nm)

50

と、アルミニウムからなる平均厚さ 20 nm のベース電極 4 と、フラーレン (C₆₀、平均厚さ 100 nm) からなる第 2 半導体層 5 B と、銀からなる平均厚さ 30 nm のエミッタ電極 3 とを、真空蒸着等の成膜手段でその順に積層したトランジスタ素子を用いた。なお、比較試料として、酸化ケイ素を設けないトランジスタ素子を作製した。

【0078】

前記の試料について、ON 電流と OFF 電流を測定した。測定は、エミッタ電極 - コレクタ電極間にコレクタ電圧 V_c を 5 V 印加し、さらにエミッタ電極 - ベース電極間にベース電圧 V_b を印加したときに測定したコレクタ電流を ON 電流とし、印加しないときに測定したコレクタ電流を OFF 電流とした。図 12 に示したように、暗電流抑制層である酸化ケイ素の厚さが 5 nm のときの ON / OFF 比は、約 250 であった。なお、このときの ON 電流は、酸化ケイ素膜を設けないときに比べて低下していたものの、厚さ 2.5 nm の酸化ケイ素膜を設けた場合と比べてあまり変化がなかった。こうしたことは、ON 電流をあまり低下させずに ON / OFF を向上させることができるので好ましい。

10

【0079】

図 13 及び図 14 は、暗電流抑制層を自然酸化により形成した場合のコレクタ電流の経時変化を示したものであり、図 13 は、暗電流抑制層が形成されていない場合のコレクタ電流のグラフを示したものであり、図 14 は、暗電流抑制層を自然酸化により形成した後のコレクタ電流のグラフを示したものである。実験は、厚さ 100 nm の透明 ITO 電極をコレクタ電極 2 とし、その上に、Me-PTC からなる平均厚さ 400 nm の第 1 半導体層 5 A と、アルミニウムからなる平均厚さ 20 nm のベース電極 4 と、フラーレン (C₆₀、平均厚さ 100 nm) からなる第 2 半導体層 5 B と、銀からなる平均厚さ 30 nm のエミッタ電極 3 とを、真空蒸着等の成膜手段でその順に積層したトランジスタ素子を用いた。

20

【0080】

前記の試料について、エミッタ電極 - コレクタ電極間にコレクタ電圧 V_c を 0 V ~ 5 V まで印加し、さらにエミッタ電極 - ベース電極間にベース電圧 V_b を 3 V 印加した場合と 4 V 印加した場合に測定したコレクタ電流を ON 電流とし、印加しないときに測定したコレクタ電流を OFF 電流とした。図 13 の結果は、上記トランジスタ素子を形成した直後に測定したものであり、ベース電極 4 の両面には暗電流抑制層 6, 7 は生じていない場合のものである。一方、図 14 の結果は、上記トランジスタ素子を形成し、温度 20 ~ 25 °C、湿度 30 ~ 70 % の室内での大気環境中に 37 分間放置した後に測定したものであり、ベース電極 4 の両面には酸化アルミニウムからなる暗電流抑制層 6, 7 が生じていた。このときの酸化アルミニウムは、アルミニウムからなるベース電極 4 の自然酸化膜であり、TEM による厚さ測定により確認した。

30

【0081】

図 13 において、コレクタ電圧 V_c が 5 V で、ベース電圧 V_b が 0 V のときの OFF 電流は 2.89 mA/cm^2 であったのに対し、図 14 において、コレクタ電圧 V_c が 5 V で、ベース電圧 V_b が 0 V のときの OFF 電流は 0.0025 mA/cm^2 であり、ON / OFF 比は、図 13 での 36 から、図 14 での 330 にまで著しく向上した。図 15 は、上記のように温度 20 ~ 25 °C、湿度 30 ~ 70 % の室内での大気環境中に放置した時間と、ON / OFF 比の関係である。ON / OFF 比は、放置時間が 20 分までは顕著に向上し、20 分経過後に 300 を超える高い値で安定した。なお、酸化アルミニウム膜の厚さは、時間の経過とともに厚くなることが確認され、放置時間 20 分のときの酸化アルミニウムの厚さよりも、放置時間 37 分のときの酸化アルミニウムの厚さが厚かった。こうした結果は、上記図 12 での実験と合わせて考えれば、主にコレクタ電極 2 側に設けられた酸化アルミニウム膜の作用効果によるものと考えられる。

40

【0082】

この第 2 のトランジスタ素子におけるその他の構成、すなわち、各電極の形成材料や半導体層の形成材料等は、上記第 1 のトランジスタ素子の欄で説明したものと同一である。

【0083】

50

(トランジスタ素子の製造方法)

本発明のトランジスタ素子の製造方法は、上記第2のトランジスタ素子の製造方法に係るものであって、エミッタ電極3とコレクタ電極2との間に半導体層5(5A, 5B)及びシート状のベース電極4が設けられ、少なくともエミッタ電極3とベース電極4との間又はコレクタ電極2とベース電極4との間に暗電流抑制層(6, 7)を形成する方法である。そして、その特徴は、ベース電極4を化学反応させることにより、暗電流抑制層を形成する。こうした化学反応としては、図12~図14の実験結果のところで示したように、ベース電極4を形成した後に該ベース電極4の一部(半導体層側に接する側の面)を酸化させて暗電流抑制層(6, 7)を形成する方法、又は、ベース電極4を形成した後に該ベース電極4を加熱処理して暗電流抑制層(6, 7)を形成する方法、を挙げることができる。こうした方法により、暗電流抑制層(6, 7)を容易に形成することができ、漏れ電流を抑制してON/OFF比を向上させたトランジスタ素子を容易に提供することができる。

10

【0084】

なお、暗電流抑制層をコレクタ電極2側にのみ設ける場合には、第1半導体層5A上にベース電極4を形成した後、そのベース電極4上に酸化等の化学反応を防止することを目的の保護層を設ければ、上暗電流抑制層をコレクタ電極2側にのみ、ベース電極4の自然酸化膜もしくは加熱酸化膜を設けることができる。

【0085】

(電子デバイス)

20

本発明の電子デバイスは、上記本発明の第1のトランジスタ素子をスイッチング素子として有するもの、又は、上記本発明の第2のトランジスタ素子をスイッチング素子として有するもの、であることが好ましい。本発明は、第1又は第2のトランジスタ素子をスイッチング素子として、例えば有機EL素子と組み合わせた電子デバイスとすることができる。第1又は第2のトランジスタ素子が低電圧で大電流変調が可能であることから、例えば有機ELのスイッチング素子である駆動トランジスタとして好ましく組み合わせてなる電子デバイスを提供できる。

【0086】

本発明のトランジスタ素子をn型トランジスタとして用いる場合において、ベース電極4とコレクタ電極2との間に有機EL層を設け、ベース電極4を陰極として用いて電子デバイスを構成すれば、従来のように電子を注入し易いが酸化し易いアルカリ金属を陰極として用いなくても、有機EL層を構成する電荷輸送層中に電荷を効果的に注入することができるという優れた効果を奏する。

30

【0087】

(発光素子)

次に、発光素子について説明する。図16は、第1のトランジスタ素子のベース電極4とコレクタ電極2との間に有機EL層41を有し、その有機EL層41が少なくとも発光層42を1層以上含む発光素子40の一例を示す模式断面図である。この第1の発光素子40は、図16に示すように、例えば厚さ100nmの透明ITO電極をコレクタ電極2とし、その上に、CuPcからなる厚さ2nmの正孔注入層44と、NPDからなる厚さ30nmの正孔輸送層43と、Alq3からなる厚さ30nmの発光層42と、BCPからなる厚さ10nmの励起子ブロック層45と、n型有機半導体のペリレン顔料(Me-PTC、厚さ500nm)からなる電子輸送性の第1半導体層5Aと、アルミニウムからなる厚さ20nmのベース電極4と、フラーレン(C60、厚さ100nm)からなる第2半導体層5Bと、銀からなる厚さ30nmのエミッタ電極3とを、真空蒸着等の成膜手段でその順に積層したものである。

40

【0088】

また、図17は、第2のトランジスタ素子のベース電極4とコレクタ電極2との間に有機EL層41を有し、その有機EL層41が少なくとも発光層42を1層以上含む発光素子50の一例を示す模式断面図である。この第2の発光素子40は、図17に示すように

50

、第 1 半導体層 5 A とベース電極 4 との間に、酸化ケイ素からなる厚さ 5 n m の暗電流抑制層 6 を形成した他は、上記第 1 の発光素子 4 0 と同じ構成である。

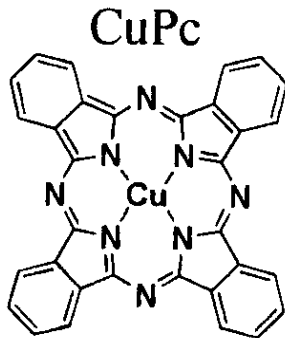
【 0 0 8 9 】

なお、図 1 6 及び図 1 7 に示す本発明の発光素子 4 0 , 5 0 のトランジスタとしての構成は、上記第 1 及び第 2 のトランジスタ素子の基本的な構成と同じであるので、既に説明した同じ構成については、同一の符号を用いて詳しい説明を省略する。また、図 1 6 及び図 1 7 に示す発光素子 4 0 , 5 0 を構成する有機 E L 層の構成材料の化学式を以下に示す。

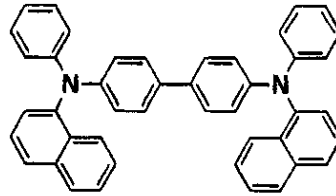
【 0 0 9 0 】

【 化 3 】

10

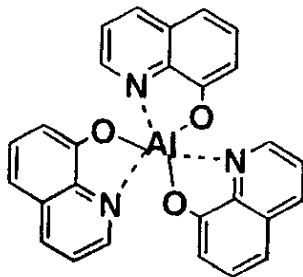


α -NPD

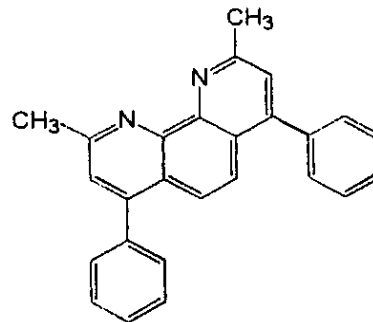


20

Alq3



BCP



30

【 0 0 9 1 】

図 1 8 は、図 1 6 に示す構成の発光素子の実験例であり、コレクタ電圧 V_c として一定の電圧を印加しながらベース電圧 V_b を変化させたときの E L 輝度の変化を示すグラフである。図 1 8 に示すように、ベース電圧 V_b の印加によって有機 E L 層にかかる電圧は減少しているにもかかわらず、E L 輝度は増大し、 $V_c = 12 \text{ V}$ 、 $V_b = 2.5 \text{ V}$ の低電圧で、約 100 cd/m^2 の輝度の変調を達成した。

【 0 0 9 2 】

40

このように、本発明の発光素子は、トランジスタ素子の第 1 半導体層 5 A とコレクタ電極 2 との間に有機 E L 層 4 1 を有し、全体としてその有機 E L 層 4 1 と同様の面状の積層構造となるので、面状の電流を変調できる。こうした構造の発光素子は、駆動素子であるトランジスタ素子と、有機 E L 素子を一度に作製できるだけでなく、駆動トランジスタの占有面積が実質ゼロとなることから開口率を大きくできるというメリットがある。近年において、有機 F E T 構造でも発光が観測されるようになったが、まだその性能は低く、実用的な性能を示す有機発光トランジスタとしては、縦型の有機 S I T を用いたものが知られている。本発明の発光素子は、コレクタ電極 2 側に有機 E L 層を積層するだけで電流変調可能な発光素子を実現できた。しかも、本発明の発光素子は、中間電極等の微細パターンニングが不必要であり、極めて実用的である。

50

【0093】

有機EL層41は、上記のように、少なくとも1層以上の発光層42を有し、さらに、正孔注入層44、正孔輸送層43、電子輸送層、及び電子注入層から選ばれる1又は2以上の層を有することが好ましい。図16及び図17の例では、発光層42のコレクタ電極2側に正孔輸送層43と正孔注入層44が設けられている。また、発光層42のベース電極4側には励起子ブロック層45が設けられている。この発光素子40, 50はトランジスタ素子により多くの電荷が加速されて有機EL層41の発光層42に到達するので、ベース電極4からの電荷の注入は容易である。したがって、有機EL層41は必ずしも電荷注入層を有していなくてもよいという利点がある。そのため、従来のように電子を注入し易いが酸化し易いアルカリ金属を陰極として用いなくてもよいという効果がある。

10

【0094】

発光層42の形成材料としては、有機EL素子の発光層として一般的に用いられている材料であれば特に限定されず、例えば色素系発光材料、金属錯体系発光材料、高分子系発光材料等を挙げることができる。

【0095】

色素系発光材料としては、例えば、シクロペンタジエン誘導体、テトラフェニルブタジエン誘導体、トリフェニルアミン誘導体、オキサジアゾール誘導体、ピラゾロキノリン誘導体、ジスチリルベンゼン誘導体、ジスチリルアリーレン誘導体、シロール誘導体、チオフェン環化合物、ピリジン環化合物、ペリノン誘導体、ペリレン誘導体、オリゴチオフェン誘導体、トリフマニルアミン誘導体、オキサジアゾールダイマー、ピラゾリンダイマー等を挙げることができる。

20

【0096】

金属錯体系発光材料としては、例えば、アルミキノリノール錯体、ベンゾキノリノールベリリウム錯体、ベンゾオキサゾール亜鉛錯体、ベンゾチアゾール亜鉛錯体、アゾメチル亜鉛錯体、ポルフィリン亜鉛錯体、ユーロピウム錯体等、中心金属に、Al、Zn、Be等、又はTb、Eu、Dy等の希土類金属を有し、配位子にオキサジアゾール、チアジアゾール、フェニルピリジン、フェニルベンゾイミダゾール、キノリン構造等を有する金属錯体等を挙げることができる。

【0097】

高分子系発光材料としては、例えば、ポリパラフェニレンビニレン誘導体、ポリチオフェン誘導体、ポリパラフェニレン誘導体、ポリシラン誘導体、ポリアセチレン誘導体、ポリビニルカルバゾール、ポリフルオレノン誘導体、ポリフルオレン誘導体、ポリキノキサリン誘導体、及びそれらの共重合体等を挙げることができる。

30

【0098】

発光層42中には、発光効率の向上や発光波長を変化させる等の目的でドーピング剤等の添加剤を添加するようにしてもよい。ドーピング剤としては、例えば、ペリレン誘導体、クマリン誘導体、ルブレン誘導体、キナクリドン誘導体、スクアリウム誘導体、ポルフィリン誘導体、スチリル色素、テトラセン誘導体、ピラゾリン誘導体、デカシクレン、フェノキサゾン、キノキサリン誘導体、カルバゾール誘導体、フルオレン誘導体等を挙げることができる。

40

【0099】

正孔輸送層43の形成材料としては、フタロシアニン、ナフタロシアニン、ポリフィリン、オキサジアゾール、トリフェニルアミン、トリアゾール、イミダゾール、イミダゾロン、ピラゾリン、テトラヒドロイミダゾール、ヒドラゾン、スチルベン、ペンタセン、ポリチオフェン若しくはブタジエン、又はこれらの誘導体等、正孔輸送材料として通常使用されるものを用いることができる。また、正孔輸送層43の形成材料として市販されている、例えばポリ(3,4)エチレンジオキシチオフェン/ポリスチレンスルホネート(略称PEDOT/PSS、バイエル社製、商品名; Baytron PAI4083、水溶液として市販。)等も使用することができる。正孔輸送層43は、こうした化合物を含有した正孔輸送層形成用塗液を用いて形成される。なお、これらの正孔輸送材料は、上記

50

の発光層 4 2 内に混ぜてもよいし、正孔注入層 4 4 内に混ぜてもよい。

【0100】

また、図 1 6 及び図 1 7 では、Me - PTC からなる第 1 半導体層 5 A が電子輸送性の層であるので、別個に電子輸送層として設けていないが、必要に応じて発光層 4 2 のベース電極 4 側に設けてもよい。電子輸送層の形成材料としては、アントラキノジメタン、フルオレニリデンメタン、テトラシアノエチレン、フルオレノン、ジフェノキノンオキサジアゾール、アントロン、チオピランジオキシド、ジフェノキノン、ベンゾキノン、マロニニトリル、ニジトロベンゼン、ニトロアントラキノン、無水マレイン酸若しくはペリレンテトラカルボン酸、又はこれらの誘導体等、電子輸送材料として通常使用されるものを用いることができる。電子輸送層は、こうした化合物を含有した電子輸送層形成用塗液を用いて形成される。なお、これらの電子輸送材料は、上記の発光層 4 2 内に混ぜてもよいし、電子注入層内に混ぜてもよい。

10

【0101】

正孔注入層 4 4 の形成材料としては、例えば、発光層 4 2 の発光材料に例示した化合物の他、フェニルアミン系、スターバースト型アミン系、フタロシアニン系、酸化バナジウム、酸化モリブデン、酸化ルテニウム、酸化アルミニウムなどの酸化物、アモルファスカーボン、ポリアニリン、ポリチオフェンなどの誘導体等を挙げることができる。

【0102】

図 1 6 及び図 1 7 には含まれないが、必要であれば電子注入層を設けてもよい。電子注入層の形成材料としては、発光層の発光材料に例示した化合物の他、アルミニウム、フッ化リチウム、ストロンチウム、酸化マグネシウム、フッ化マグネシウム、フッ化ストロンチウム、フッ化カルシウム、フッ化バリウム、酸化アルミニウム、酸化ストロンチウム、カルシウム、ポリメチルメタクリレートポリスチレンスルホン酸ナトリウム、リチウム、セシウム、フッ化セシウム等のようにアルカリ金属類、及びアルカリ金属類のハロゲン化合物、アルカリ金属の有機錯体等を挙げることができる。

20

【0103】

なお、上述した発光層や電荷輸送層等の有機層中には、必要に応じてオリゴマー材料又は dendrimer 材料の発光材料若しくは電荷輸送注入材料を含有させてもよい。

【0104】

上述した各層は、真空蒸着法によって成膜するか、あるいは、それぞれの形成材料をトルエン、クロロホルム、ジクロロメタン、テトラヒドロフラン、ジオキサン等の溶媒に溶解又は分散させて塗布液を調整し、その塗布液を塗布装置等を用いて塗布又は印刷等することによって形成される。

30

【0105】

励起子ブロック層 4 5 は、正孔ブロック層、電子ブロック層等として機能する層であり、キャリア（正孔、電子）のつきぬけを防止し、効率よくキャリアの再結合させるためのブロック層である。図 1 6 及び図 1 7 においては、トランジスタ素子が n 型半導体材料で構成されているので、コレクタ電極 2 が陽極として作用する。その結果、コレクタ電極 2 から正孔が注入されるので、発光層 4 2 のベース電極 4 側の隣接面には正孔ブロック層としての励起子ブロック層 4 5 を形成することが好ましい。図 1 6 及び図 1 7 に示す発光素子では、励起子ブロック層 4 5 の形成材料として、BCP（1-ブロモ-3-クロロプロパン）を用いた。

40

【0106】

図 1 6 及び図 1 7 に示す BCP からなる励起子ブロック層 4 5 は、エネルギーダイアグラムにおいて、LUMO が Me - PTC とほぼ同じなので Me - PTC から電子をブロックしないが、HOMO が Alq3 よりも高いので Alq3 から正孔はブロックする。BCP の励起状態は Alq3 の励起状態よりもエネルギーが高いので、Alq3 で発生した励起子は BCP に拡散しない。

【0107】

なお、トランジスタ素子が p 型半導体材料で構成され他場合には、コレクタ電極 2 が陰

50

極として作用することになり、その結果、コレクタ電極 2 から電子が注入されるので、発光層 4 2 のベース電極 4 側の隣接面には電子ブロック層としての励起子ブロック層 4 5 を形成することが好ましい。

【0108】

(コプラナー型デバイス)

次に、トランジスタ素子を有機 EL の駆動トランジスタとして用いたコプラナー型デバイスについて説明する。有機 EL を用いたフレキシブルディスプレイでは、有機トランジスタによるアクティブマトリックス回路を構成する必要がある。単一ピクセルレベルでは、これまでに有機 FET と有機 EL とを組み合わせたものが報告されているが、大きな電流を流すことが難しい有機 FET では、数十ボルトの大きな電圧や、大電流をかせぐための広い楕形電極が必要であったが、上述した本発明のトランジスタ素子は、低電圧で大電流変調が可能であることから、有機 EL の駆動用トランジスタとして最適である。

【0109】

図 19 は、本発明のトランジスタ素子を用いた有機 EL のスイッチング構造を示す模式的な断面図である。このコプラナー型デバイスは、同一の ITO 電極ガラス基板上に、第 1 半導体層 5 A である Me-PTC (厚さ 500 nm) と、ベース電極 4 である Al (厚さ 20 nm) と、第 2 半導体層 5 B である C60 (厚さ 100 nm) と、エミッタ電極 3 である Ag (30 nm) とをその順で積層した構造を持つトランジスタ素子と、有機 EL デバイスを並置し、トランジスタ素子のコレクタ電極 2 と重なるように有機 EL の陰極である LiF (厚さ 0.5 nm) / Al (厚さ 100 nm) を蒸着し接続した。有機 EL デバイスとしては、同一の ITO 電極ガラス基板上に、CuPc からなる厚さ 7 nm の正孔注入層 4 4 と、NPD からなる厚さ 40 nm の正孔輸送層 4 3 と、Alq3 からなる厚さ 70 nm の発光層 4 2 とをその順で積層した構造とした。

【0110】

図 20 は、コプラナー型デバイスにトータル電圧 V_{DD} を印加しながらベース電圧 V_b を印加したときの、電流経路を示す模式図である。また、図 21 は、図 19 に示すコプラナー型の直列デバイスにおける、輝度変調特性を示すグラフである。これは、トータル電圧 V_{DD} を印加しながらベース電圧 V_b を印加したときの、有機 EL 出力光強度の変調を輝度計で測定したものである。

【0111】

図 21 に示すように、トータル電圧 14 V のときには、制御電圧わずか 4 V で 1200 cd/m^2 以上の輝度変調を得ることができた。また、トータル電圧 V_{DD} が 12 V のときには、ベース電圧 V_b が 0 の OFF 状態における発光が目視では確認できないレベルに抑えられたため、完全な ON/OFF を実現することができた。これらの電圧は、現在報告されている有機 FET と有機 EL の組み合わせ素子よりもかなり低く、本発明のトランジスタ素子を用いることにより大幅な低電圧化を実現することができた。

【0112】

このように、本発明のトランジスタ素子は、その低電圧・大電流変調の特性から、有機 EL の駆動用トランジスタとして高い性能を示すことが分かった。大電流変調が可能であるということは、一つのピクセル内におけるトランジスタの占有面積を小さくできることを意味しており、ディスプレイにおける開口率の向上につながる。そのような観点からも、本発明のトランジスタ素子はフレキシブルディスプレイの駆動用トランジスタとして期待できる。

【0113】

以上説明したように、本発明の発光素子は、ベース電極とコレクタ電極との間に設けた有機 EL 層による大電流面状発光が可能になり、しかも、その場合、従来の SIT 構造のようなベース電極の微細パターンングが不必要であるとともに、低電圧で大電流変調が可能であり、さらに ON/OFF 比を向上させることができるので、簡単な構造からなる実用的な発光素子を提供できる。

【0114】

(ディスプレイ)

本発明のディスプレイは、上記本発明の発光素子を基板上に形成し、輝度の高いディスプレイとすることができる。基板は、上記第1のトランジスタ素子のところで説明した種々のものを用いることができる。また、フレキシブル基板としては、例えば、ガラス、石英、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリエチレンテレフタレート、ポリメタクリレート、ポリメチルメタクリレート、ポリメチルアクリレート、ポリエステル、ポリカーボネート等からなるフレキシブル基板を挙げることができる。また、基板の形状としては、枚葉状でも連続状でもよく、具体的な形状としては、例えばカード状、フィルム状、ディスク状、チップ状等を挙げることができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0115】

【図1】本発明の第1のトランジスタ素子の一例を示す模式的な断面図である。

【図2】コレクタ電圧に対するコレクタ電流の変化を示すグラフである。

【図3】コレクタ電流の変化に対するベース電流の変化の比率（電流増幅率（ h_{FE} ））を示すグラフである。

【図4】ベース電極の厚さ以外は図2及び図3で測定したトランジスタ素子と同じ構成のものを用いた場合において、変調電流量 I_c (A) 及び電流増幅率 h_{FE} (B) の、ベース電極の膜厚依存性を示したグラフである。

【図5】ベース電極の厚さを変化させた際における電流透過率を示したグラフである。

【図6】ベース電極の形成材料を変更した場合の、エミッタ電極からの注入電流 (A) とコレクタ電極への到達電流 (B) とに対するベース電圧依存性を示すグラフである。

20

【図7】本発明のトランジスタ素子のエネルギーダイアグラムである。

【図8】本発明の第2のトランジスタ素子の一例を示す模式的な断面図である。

【図9】本発明の第2のトランジスタ素子の他の一例を示す模式的な断面図である。

【図10】図8の第2のトランジスタ素子の場合におけるON電流とOFF電流の経路を示したものである。

【図11】図9の第2のトランジスタ素子の場合におけるON電流とOFF電流の経路を示したものである。

【図12】暗電流抑制層として酸化ケイ素膜を形成した場合でのON電流と、ON/OFF比の実験結果を示すグラフである。

30

【図13】暗電流抑制層が形成されていない場合のコレクタ電流のグラフを示したものである。

【図14】暗電流抑制層を自然酸化により形成した後のコレクタ電流のグラフを示したものである。

【図15】大気環境中に放置した時間と、ON/OFF比の関係である。

【図16】第1のトランジスタ素子のベース電極とコレクタ電極との間に有機EL層を有し、その有機EL層が少なくとも発光層を1層以上含む発光素子の一例を示す模式断面図である。

【図17】第2のトランジスタ素子のベース電極とコレクタ電極との間に有機EL層を有し、その有機EL層が少なくとも発光層を1層以上含む発光素子の一例を示す模式断面図である。

40

【図18】図16に示す構成の発光素子の実験例であり、コレクタ電圧 V_c として一定の電圧を印加しながらベース電圧 V_b を変化させたときのEL輝度の変化を示すグラフである。

【図19】本発明のトランジスタ素子を用いた有機ELのスイッチング構造を示す模式的な断面図である。

【図20】コプラナー型デバイスにトータル電圧 V_{DD} を印加しながらベース電圧 V_b を印加したときの、電流経路を示す模式図である。

【図21】図19に示すコプラナー型の直列デバイスにおける、輝度変調特性を示すグラフである。

50

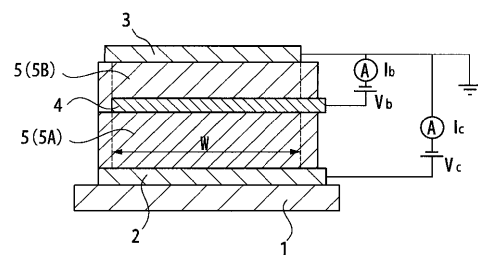
【符号の説明】

【 0 1 1 6 】

- 1 基板
- 2 コレクタ電極
- 3 エミッタ電極
- 4 ベース電極
- 5, 5 A, 5 B 半導体層
- 6, 7 暗電流抑制層
- 10, 20 トランジスタ素子
- 40, 50 発光素子
- 41 有機EL層
- 42 発光層
- 43 正孔輸送層
- 44 正孔注入層
- 45 励起子ブロック層

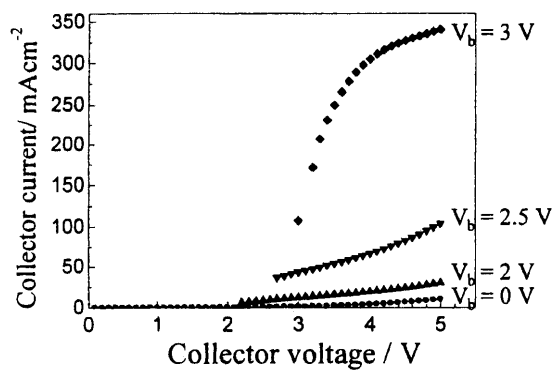
10

【図1】

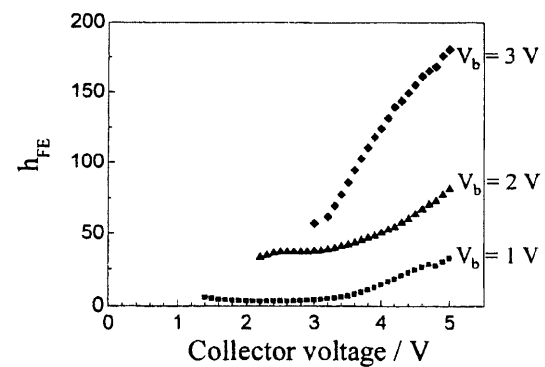


10

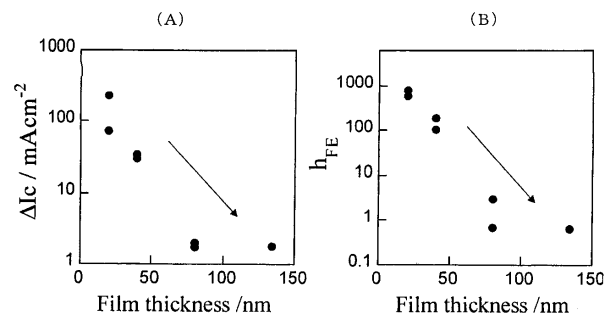
【図2】



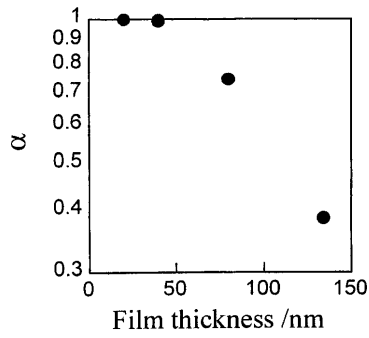
【図3】



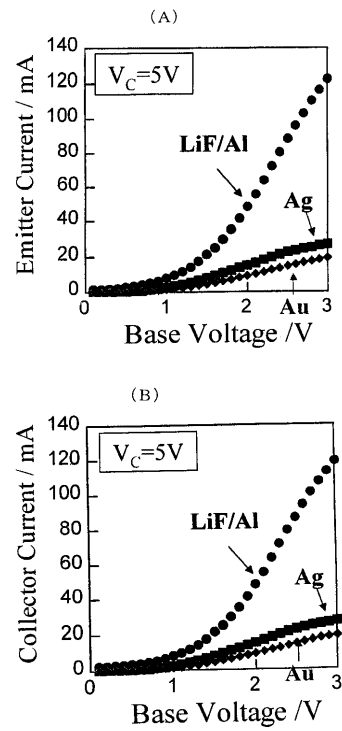
【図4】



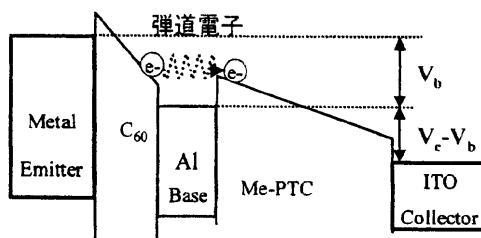
【図 5】



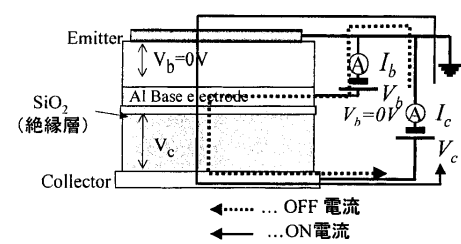
【図 6】



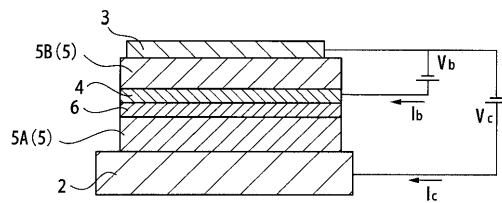
【図 7】



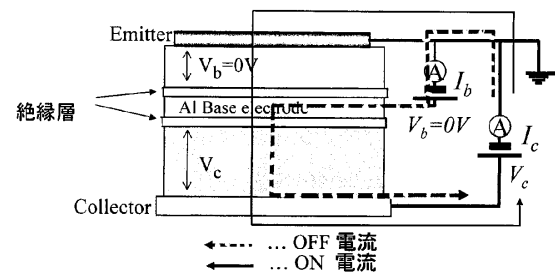
【図 10】



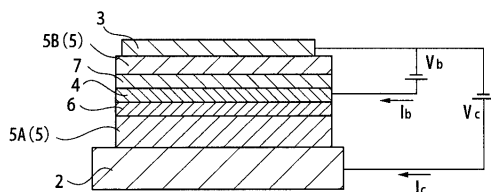
【図 8】



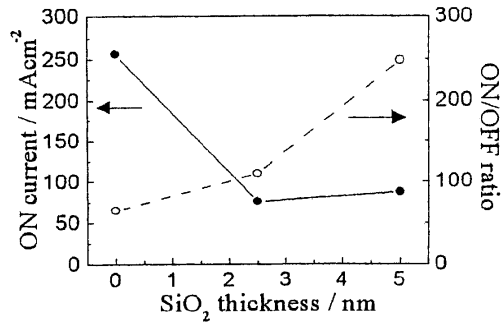
【図 11】



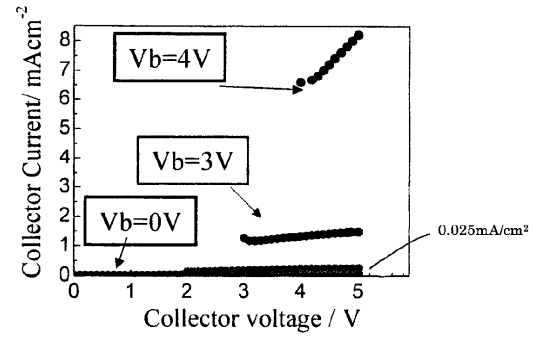
【図 9】



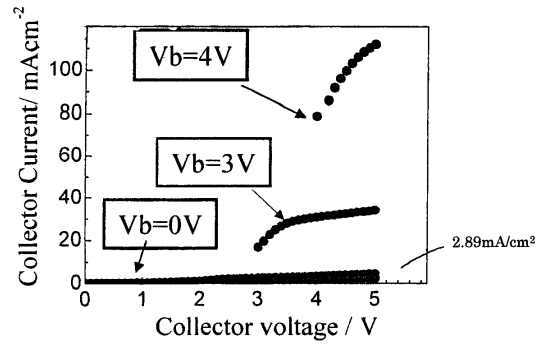
【図12】



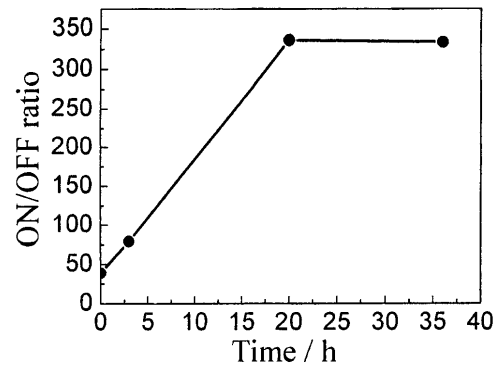
【図14】



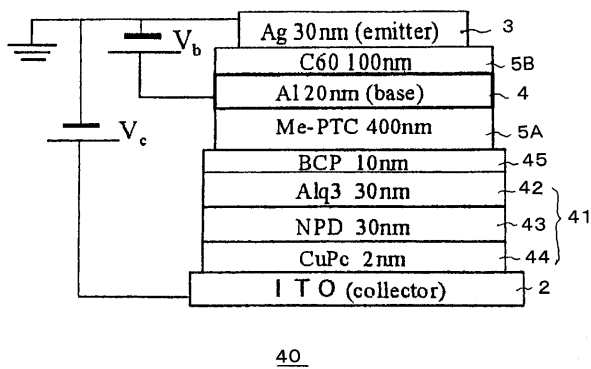
【図13】



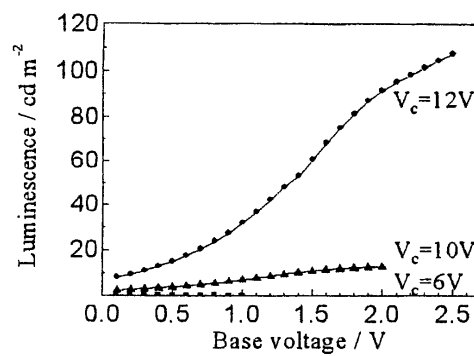
【図15】



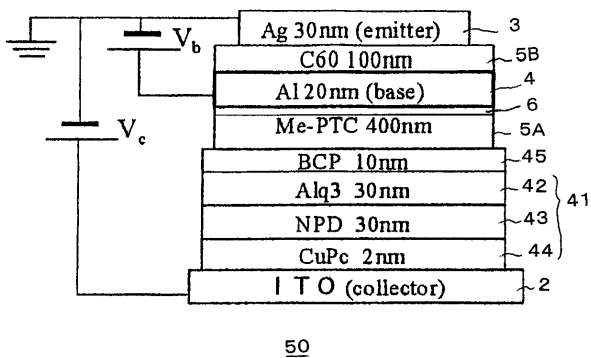
【図16】



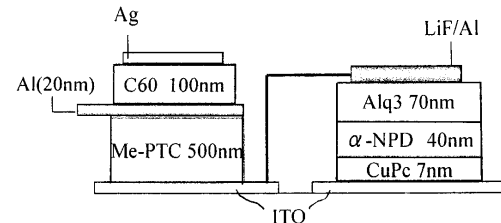
【図18】



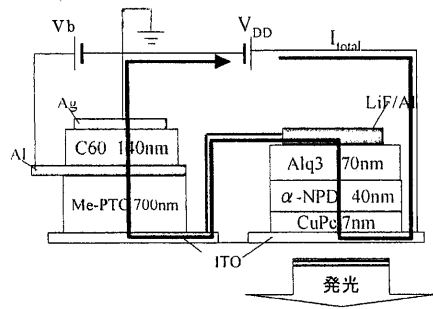
【図17】



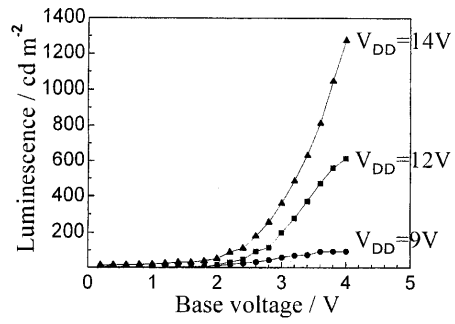
【図19】



【図 20】



【図 21】



フロントページの続き

(73)特許権者 000002093

住友化学株式会社

東京都中央区新川二丁目27番1号

(74)代理人 100117226

弁理士 吉村 俊一

(72)発明者 横山 正明

大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内

(72)発明者 中山 健一

大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内

審査官 棚田 一也

(56)参考文献 特開平10-214044(JP,A)

特開昭63-009149(JP,A)

特開昭62-166564(JP,A)

特開昭62-092368(JP,A)

特開昭64-025563(JP,A)

特開2004-158719(JP,A)

特表平11-501165(JP,A)

特表2007-535178(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 29/68

H01L 51/05

H01L 51/50

H05B 33/26