



(43) 国際公開日
2006年5月26日 (26.05.2006)

PCT

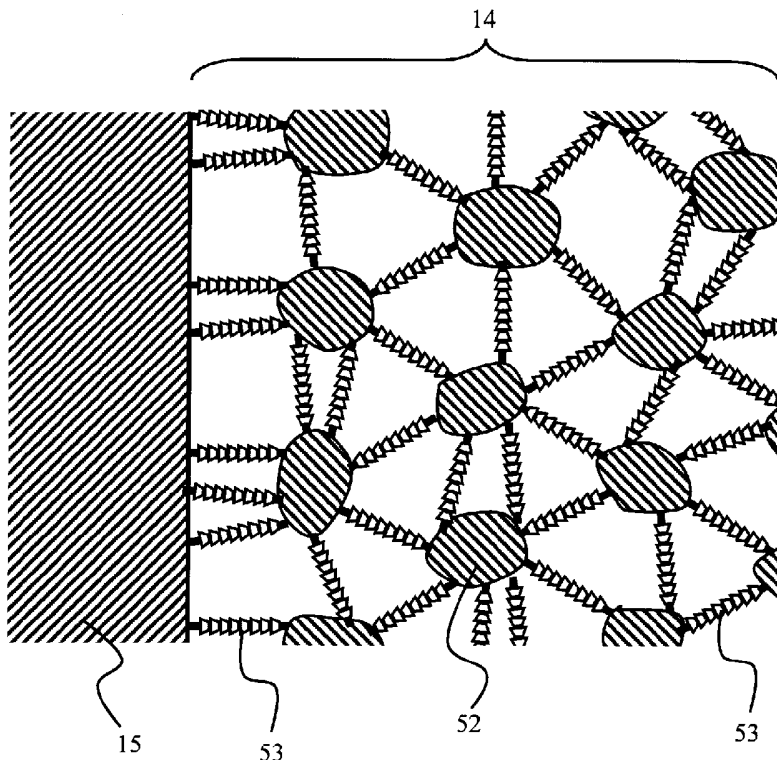
(10) 国際公開番号
WO 2006/054709 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 51/05 (2006.01) H01L 29/786 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/021270
- (22) 国際出願日: 2005年11月18日 (18.11.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2004-335726
2004年11月19日 (19.11.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 松下電器産業株式会社 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5718501 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 Osaka (JP). 国立大学法人大阪大学 (OSAKA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒5650871 大阪府吹田市山田丘 1 番 1 号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 竹内孝之 (TAKEUCHI, Takayuki). 原田健史 (HARADA, Kenji). 神戸宣明 (KAMBE, Nobuaki). 寺尾潤 (TERAO, Jun).
- (74) 代理人: 鎌田耕一, 外 (KAMADA, Koichi et al.); 〒5300047 大阪府大阪市北区西天満 4 丁目 3 番 1 号 トモエマリオンビル 7 階 Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD,

[続葉有]

(54) Title: FIELD-EFFECT TRANSISTOR, PROCESS FOR PRODUCING THE SAME AND ELECTRONIC APPLIANCE UTILIZING THE SAME

(54) 発明の名称: 電界効果トランジスタおよびその製造方法、ならびにそれを用いた電子機器



(57) Abstract: A field-effect transistor comprising semiconductor layer (14) containing a part functioning as a channel region. The semiconductor layer (14) contains, as constituents thereof, multiple conductive microparticles (52) dispersed in the semiconductor layer (14), organic semiconductor molecules (53) linking the microparticles (52) to each other through chemical bonding to the microparticles (52), and cyclic molecules. The organic semiconductor molecules (53) each comprise a π -electron conjugated chain as a main chain, the π -electron conjugated chain clathrated by cyclic molecules.

(57) 要約: 本発明の電界効果トランジスタは、チャネル領域として機能する部分を含む半導体層 14 を備える。半導体層 14 は、半導体層 14 内に分散された複数の導電性の微粒子 52 と、微粒子 52 に化学結合して微粒子 52 間を連結する有機半導体分子 53 と、環状分子とを構成要素として含む。有機半導体分子 53 は π 電子共役鎖を主鎖として含み、その π 電子共役鎖が環状分子によって包接され

ている。



SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

電界効果トランジスタおよびその製造方法、ならびにそれを用いた電子機器

技術分野

[0001] 本発明は、有機分子を含有する半導体層を備える電界効果トランジスタおよびその製造方法、ならびにそれを用いた電子機器に関する。

背景技術

[0002] 有機材料には、炭素の骨格をベースとする様々な化合物が存在する。中でも導電性を有する有機分子は、その分子構造に由来する多様な電気特性を発現することが確認されており、薄膜トランジスタ、センサ、有機LED、コンデンサ、電池、生体機能デバイス、レーザなど、様々な有機電子デバイスへの応用が提案されている。

[0003] 薄膜トランジスタ(以下、TFTという場合がある)は、現在、アクティブマトリクス型の液晶ディスプレイ等における駆動素子として期待されている。TFTは、通常、アモルファスシリコンや低温ポリシリコンといった無機半導体材料で形成されている。TFTの半導体層を有機分子で形成することによって、低コスト化や大面積化が可能となる。

[0004] しかしながら、現在報告されている有機半導体は、無機半導体に比べてキャリア移動度が低く、それを用いた素子は駆動電圧が高いなどの問題がある。そのため、有機半導体のキャリア移動度の向上や、有機半導体を用いた素子の駆動電圧の低減についての研究がされている。

[0005] 有機半導体分子を用いた電界効果トランジスタ(以下、「FET」という場合がある)では、ほとんどの場合、有機半導体分子本来の特性から期待されるデバイス特性が十分には得られない。その要因の1つとして、有機半導体分子内の電荷の移動は非常に速いが、有機半導体分子と有機半導体分子との間の電荷の移動はそれに比べて遅いため、半導体層全体としては後者の電荷移動速度に制限された特性しか得られないことが挙げられる。これを改善する手段の1つとして、導体または半導体からなる微粒子と、それに結合した有機半導体分子とによって導電路が形成された半導体層が開示されている(特開2004-88090号公報)。

[0006] また、導電性有機分子として π 共役系高分子を用いた電子デバイスでは、酸素や水の影響を受けやすく、デバイス特性を維持するためには別途封止構造を用いるなどの必要があった。これを改善する方法の1つとして、導電性高分子をシクロデキストリンなどの絶縁性の環状分子で包接して、デバイスの信頼性を向上させる方法が開示されている。(特開2003-298067号公報)。

[0007] 特開2004-88090号公報に記載の手段では、微粒子としては導体と半導体のいずれを選択してもよい。有機材料だけで半導体物性を発現させる方が単純なデバイス特性が得られやすいので、導体からなる微粒子を用いる方がデバイス設計上好ましい。しかしながら、微粒子として導体を用いた場合、微粒子の粒径に対して有機半導体分子の鎖長が短いと、導体である微粒子同士の接触や微粒子間における電荷のホッピングが生じる。その結果、短絡や漏れ電流の増大といった問題が発生する場合があった。このような問題を解決するために有機半導体分子の鎖長を長くすると、分子の直線性が悪くなって有機半導体分子同士で絡まったり、分子の両端が同一の微粒子に結合してしまったりして、所望の特性が得られないという問題があった。

発明の開示

[0008] このような状況を考慮し、本発明は、有機分子を含み高速のキャリア移動を可能とする半導体層を有する電界効果トランジスタおよびその製造方法、ならびにそれを用いた各種の電子機器を提供することを目的の1つとする。

[0009] 上記目的を達成するため、本発明の電界効果トランジスタは、チャンネル領域として機能する部分を含む半導体層を備える電界効果トランジスタであって、前記半導体層が、前記半導体層内に分散された複数の導電性の微粒子と、前記微粒子に化学結合して前記微粒子間を連結する有機半導体分子と、環状分子とを構成要素として含み、前記有機半導体分子は π 電子共役鎖を主鎖として含み、前記 π 電子共役鎖が前記環状分子によって包接されている。

[0010] また、本発明の電子機器は、少なくとも1つの電界効果トランジスタを含む電子機器であって、前記電界効果トランジスタが、チャンネル領域として機能する部分を含む半導体層を備え、前記半導体層が、前記半導体層内に分散された複数の導電性の微粒子と、前記微粒子に化学結合して前記微粒子間を連結する有機半導体分子と、

環状分子とを構成要素として含み、前記有機半導体分子は π 電子共役鎖を主鎖として含み、前記 π 電子共役鎖が前記環状分子によって包接されている電子機器。

[0011] また、本発明の製造方法は、複数の導電性の微粒子を含む半導体層を備える電界効果トランジスタの製造方法であって、(I)複数の前記微粒子と、環状分子によって包接された π 電子共役鎖と前記 π 電子共役鎖の両末端に配置され前記微粒子と化学結合する2つの末端基とを備える有機半導体分子とを、溶媒中で接触させることによって、前記有機半導体分子の前記末端基と前記微粒子とを化学結合させる工程と、(II)前記溶媒を除去する工程と、を含む。なお、この明細書において、「溶媒」とは分散媒を含む意味である。

[0012] 本発明の電界効果トランジスタでは、導電性を有する微粒子同士が、 π 電子共役鎖によって連結されている。この π 電子共役鎖は環状化合物で包接されているため、主鎖長が長くなった場合でも比較的高い直線性が保たれる。そのため、本発明によれば、短絡や漏れ電流が少なく、キャリア移動度が高く、安定な電界効果トランジスタが得られる。また、本発明によれば、有機半導体分子を用いる半導体層において課題であった、酸素や水などに対する耐性も向上させることができる。

[0013] また、本発明の電子機器は、本発明の電界効果トランジスタを用いているため、プラスチック基板などの可撓性基板上に低温でトランジスタを形成できる。そのため、本発明によれば、可撓性や軽量といった特性を電子機器に付与できる。

図面の簡単な説明

- [0014] [図1]図1A～図1Dは、本発明のFETの例を模式的に示す断面図である。
- [図2]図2Aおよび図2Bは、本発明のFETの他の例を模式的に示す断面図である。
- [図3]図3Aは、シクロデキストリンの化学式である。図3Bは、シクロデキストリンの形状を模式的に示す斜視図である。
- [図4]図4Aは、本発明で用いられる有機半導体分子の一例について半導体層中の状態を示す模式図である。図4Bは、金の微粒子に結合する前の図4Aの分子を示す。
- [図5]図5は、本発明のFETに関してソース電極近傍の半導体層の状態を示す模式図である。

[図6]図6は、本発明のFETの他の例に関してソース電極近傍の半導体層の状態を示す模式図である。

[図7]図7Aおよび図7Bは、それぞれ、本発明で用いられる有機半導体分子の他の例を示す。

[図8]図8は、本発明で用いられる有機半導体分子の末端基の例を示す。

[図9]図9は、本発明のアクティブマトリクス型ディスプレイの一例を模式的に示す一部分解斜視図である。

[図10]図10は、図9のディスプレイの駆動回路およびその周辺の構成を模式的に示す斜視図である。

[図11]図11は、無線IDタグの一例の構成を模式的に示す斜視図である。

[図12]図12は、携帯テレビの一例の構成を模式的に示す斜視図である。

[図13]図13は、通信端末の一例の構成を模式的に示す斜視図である。

[図14]図14は、携帯用医療機器の一例を模式的に示す斜視図である。

[図15]図15Aは、半導体層の断面の一例を示す。図15Bは、半導体層中の導電性微粒子の粒径分布の一例を示す。

[図16]図16は、図4Bの化合物の合成工程の一例を示す図である。

[図17]図17は、図16に示した工程の続きの工程を示す図である。

[図18]図18は、図7Aの化合物の合成工程の一例を示す図である。

[図19]図19は、図7Bの化合物の合成工程の一例を示す図である。

[図20]図20A、図20Bおよび図20Cは、それぞれ、本発明で用いられる有機半導体分子の一例を示す。

発明を実施するための最良の形態

[0015] 以下、本発明の実施の形態について説明する。

[0016] [電界効果トランジスタ]

本発明の電界効果トランジスタは、チャネル領域として機能する部分を含む半導体層を備える。その半導体層は、その半導体層内に分散された複数の導電性の微粒子と、微粒子に化学結合して微粒子間を連結する有機半導体分子(以下、「有機分子(A)」という場合がある)と、環状分子とを構成要素として含む。有機分子(A)は π

電子共役鎖を主鎖として含む。その π 電子共役鎖は、環状分子によって包接されている。半導体層中において、微粒子と有機分子(A)とは、網目状のネットワークを形成する。半導体層以外の構成部分に特に限定はなく、公知の構成および材料を適用できる。

[0017] 上記半導体層は、電界の印加によって導電性が変化する層である。半導体層の厚さに特に限定はなく、たとえば30nm $\sim$ 1 μ mの範囲としてもよい。半導体層は、典型的には、導電性の微粒子と有機半導体分子と環状分子とからなるが、本発明の効果が得られる限り、他の物質を含んでもよい。ただし、導電性微粒子と有機半導体分子と環状分子との合計は、通常、半導体層の50質量%以上であり、たとえば90質量%以上である。

[0018] 有機分子(A)は、 π 電子共役結合によって形成された分子鎖(π 電子共役鎖)を主鎖とする分子であり、半導体性を示す。有機分子(A)の両端は、導電性の微粒子に結合している。なお、一部の有機分子(A)の末端は、ソース電極またはドレイン電極に結合していてもよい。有機分子(A)の主鎖(π 電子共役鎖)は、直線性が高いことが好ましい。有機分子(A)の主鎖は、環状化合物によって包接可能な π 電子共役鎖である限り特に限定はなく、たとえば、芳香環、芳香族縮合多環、 $-\text{CH}=\text{CH}-$ 基などが、1種または複数種連結された構造を有する。有機分子(A)は一種類の有機分子であってもよいし、複数種の有機分子であってもよい。有機分子(A)の具体例については、実施形態1で説明する。

[0019] 有機分子(A)の主鎖長、すなわち、主鎖を構成する π 電子共役鎖の長さは、たとえば5nm $\sim$ 50nmの範囲であり、10nm $\sim$ 30nmの範囲であることが好ましい。有機分子(A)の主鎖長を10nm $\sim$ 30nmの範囲とすることによって、主鎖の直線性が保たれ、かつ主鎖内の π 電子共役結合を利用した電荷の移動を十分に活用することができる。

[0020] ここで、有機分子(A)の主鎖長とは、主鎖を構成する π 電子共役鎖の直線性が最も高くなつたと仮定した時の分子構造より計算される主鎖の両端間の直線距離をいう。

[0021] 有機分子(A)の平均主鎖長は、上記微粒子の平均粒径以上であることが好ましい

。この構成によれば、微粒子同士の距離が微粒子の平均粒径程度以上となるため、短絡や漏れ電流の増大を抑制することができ、信頼性が高い電界効果トランジスタが得られる。有機分子(A)の平均主鎖長は、微粒子の平均粒径の1倍～3倍の範囲にあることがより好ましい。

[0022] 微粒子の「平均粒径」の求め方については、後述する。また、この明細書において、有機分子(A)の「平均主鎖長」とは、鎖長が異なる複数種の有機分子(A)のうち最も含有率が高い有機分子(A)の主鎖長を意味する。有機分子(A)の主鎖は、通常、所定の構造単位の繰り返しによって構成される。そして、その繰り返し回数は、1つの値を中心として分布する。このとき、最も割合が高い繰り返し回数的主鎖の長さが、「平均主鎖長」となる。

[0023] 有機分子(A)は、主鎖長が異なる複数種の分子を含んでもよい。この構成によれば、主鎖長が統一された有機半導体分子を用いる場合に比べて、微粒子間を連結する有機半導体分子の数が増えるため、半導体層に流せる電流量を増加できる。

[0024] 上記環状分子は、有機分子(A)の主鎖を包接してその主鎖の直線性を高めるものであればよい。環状分子としては、たとえば、シクロデキストリン、シクロデキストリン誘導体や、これらを架橋させてチューブ状にしたものなどを用いることができる。シクロデキストリンは短いチューブ状の形状を有しており、好ましく用いられる。環状分子の具体例については、実施形態1でも説明する。

[0025] 環状分子で包接された有機分子(A)は、公知の方法で合成できる。鈴木カップリング反応を用いた合成方法の一例が、アンダーソンらによって開示されている(ハリー・エル・アンダーソンら(Harry L. Anderson et al.)、インシュレーテッド・モレキュラー・ワイアーズ(Insulated Molecular Wires)、Angewandte Chemie, International Edition、2000年、39、No. 19、p. 3456～3460)。

[0026] 導電性の微粒子は、少なくとも表面が導電性の材料(導体)からなり、たとえば、金属、導電性の金属酸化物、または導電性の有機物の結晶で形成できる。導電性の微粒子は、複数の材料で形成されていてもよい。また、微粒子の形状に特に限定はなく、たとえば、球状、棒状または薄片状であってもよい。導電性の微粒子の好ましい一例は、金の微粒子である。金の微粒子と、末端にメルカプト基を有する有機分子(A)

とを用いた場合、有機分子(A)は容易に金の微粒子に結合する。

[0027] 導電性の微粒子の平均粒径は、10nm～100nmの範囲にあることが好ましく、10nm～30nmの範囲にあることがより好ましい。平均粒径が10nm未満の微粒子は、製造が容易ではなく、半導体層中に均一に分散させることも容易ではない。また、製造上の観点から、有機分子(A)の主鎖長は数十nm程度以下であることが好ましい。そのため、平均粒径が100nmを超える微粒子を用いた場合、微粒子同士の距離を十分にとって分散させることが難しくなり、短絡や漏れ電流の増大を引き起こす場合がある。微粒子の平均粒径を10nm～100nmの範囲にすることによって、電気的特性が安定しており信頼性が高い電界効果トランジスタが得られる。

[0028] 有機分子(A)の π 電子共役鎖の末端には、有機分子(A)を包接する環状分子の内径よりも幅が大きい原子団が結合していてもよい。この構成によれば、有機分子(A)から環状分子が脱離することを防止できる。そのような原子団としては、たとえばポルフィリンが挙げられる。

[0029] 本発明の電界効果トランジスタは、半導体層に接触する電極(ソース電極およびドレイン電極)を含み、その電極の表面と微粒子の表面とが同じ金属元素を主成分(含有率:50質量%以上)としてもよい。そして、一部の有機分子(A)が、電極の表面と微粒子との両方に化学結合していてもよい。電極の表面と微粒子の表面とを同じ金属元素で形成することによって、所定の末端基で有機分子(A)を電極表面と微粒子表面とに化学結合させることができる。この構成によれば、ソース・ドレイン電極と半導体層との接続抵抗が低い電界効果トランジスタが得られる。たとえば、導電性微粒子として金の微粒子を用い、ソース・ドレイン電極として金の膜を用い、有機分子(A)として、両端にメルカプト基を有する有機分子を用いる。この場合、有機分子(A)は、2つの微粒子間、または微粒子と電極との間を連結する。

[0030] 本発明の電界効果トランジスタでは、通常、ソース・ドレイン電極間の距離が、有機分子(A)の平均主鎖長の50倍以上(たとえば100倍～10000倍の範囲)である。このような構成によれば、ソース・ドレイン間の距離を汎用的なリソグラフィ技術や印刷技術を用いて実現可能な距離(サブミクロン～数十ミクロン)とした場合でも、高移動度の電界効果トランジスタを容易に製造できる。

[0031] [電子機器]

本発明の電子機器は、少なくとも1つの電界効果トランジスタを含む電子機器である。その電界効果トランジスタは、上記本発明の電界効果トランジスタである。本発明の電界効果トランジスタについては上述したため、説明を省略する。

[0032] 本発明の電子機器は、アクティブマトリクス型ディスプレイであつてもよく、電界効果トランジスタ素子がスイッチング素子として用いられていてもよい。スイッチング素子によって画素の駆動が行われる。この構成によれば、低コストで特性の高いシートライク、或いはペーパーライクなディスプレイを実現できる。

[0033] 本発明の電子機器は、無線IDタグであつてもよい。本発明の電界効果トランジスタは、たとえば、無線IDタグの集積回路を構成する半導体素子の一部として利用される。このような構成によれば、様々な形状の物体や素材に貼り付けることが可能な無線IDタグが得られる。また、この構成によれば、任意の形状に形成可能な無線IDタグを実現できる。

[0034] 本発明の電子機器は、携帯用機器であつてもよい。本発明の電界効果トランジスタは、たとえば、携帯用機器の集積回路を構成する半導体素子の一部として利用される。このような構成によれば、携帯テレビ、通信端末、PDA、携帯用医療機器などの携帯用機器に、低コスト、フレキシブル、耐衝撃性が高い、任意の形状に形成可能といった利点を付加することができる。

[0035] [電界効果トランジスタの製造方法]

本発明の電界効果トランジスタの製造方法は、複数の導電性の微粒子を含む半導体層を備える電界効果トランジスタの製造方法である。この半導体層の一部はチャネル領域として機能する。この製造方法によれば、本発明の電界効果トランジスタを製造できる。

[0036] 本発明の製造方法において、半導体層を形成する方法について以下に説明する。なお、半導体層以外の部分の形成方法に限定はなく、公知の方法を適用できる。

[0037] まず、環状分子によって包接された π 電子共役鎖と当該 π 電子共役鎖の両末端に配置され当該微粒子と化学結合する2つの末端基とを備える有機半導体分子(以下「有機分子(B)」という場合がある)を用意する。

- [0038] 次に、複数の上記微粒子と有機分子(B)とを溶媒中で接触させることによって、有機分子(B)の末端基と微粒子とを化学結合させる(工程(I))。この工程によって、微粒子同士が π 電子共役鎖によって連結され、導電路が形成される。また、微粒子に結合した有機分子(B)は、上記有機分子(A)に相当する。有機分子(A)および(B)の具体例については、実施形態1で説明する。微粒子については上述したため、重複する説明を省略する。溶媒は、微粒子の分散媒、有機分子(B)の分散媒、有機分子(B)が溶解する溶媒、またはそれらの混合物である。溶媒は、微粒子および有機分子(B)に応じて選択される。微粒子が分散される第1の溶媒は、たとえば、水系、溶剤系、アルコール系の溶媒である。また、有機分子(B)が溶解または分散される第2の溶媒は、たとえば、水系、溶剤系、アルコール系の溶媒である。
- [0039] 次に、上記溶媒を除去する(工程(II))。溶媒の除去によって半導体層が形成される。溶媒の除去の方法に特に限定はなく、加熱乾燥、減圧乾燥、自然乾燥など、いずれの方法でもよい。ただし、加熱は、有機分子の特性が低下しない温度で行うことが好ましい。
- [0040] 以下、工程(I)の4つの例について説明する。
- [0041] 第1の例では、工程(I)は、複数の微粒子と第1の溶媒とを含む第1の液体と、有機分子(B)と第2の溶媒とを含む第2の液体とを半導体層が形成される領域に供給することによって、有機分子(B)の末端基と微粒子とを化学結合させる工程を含む。第1の例では、半導体層が形成される領域に、第1の液体と第2の液体とが別々に供給され、当該領域で反応が生じる。この場合、工程(II)では、第1の溶媒と第2の溶媒とが除去される。なお、微粒子と第1の溶媒とを含む第1の液体は、界面活性剤などを含んでもよい(以下の例でも同様である)。
- [0042] 第2の例では、工程(I)は、複数の微粒子と第1の溶媒とを含む第1の液体を半導体層が形成される領域に供給したのち、第1の溶媒を除去して微粒子層を形成する工程と、有機分子(B)と第2の溶媒とを含む第2の液体を微粒子層上に供給することによって有機分子(B)の末端基と微粒子とを化学結合させる工程とを含む。第2の例では、第2の液体を供給した際に、微粒子層の微粒子が第2の溶媒中に分散し、第2の溶媒中で有機分子(B)と微粒子とが反応する。第2の例では、工程(II)において、

第2の溶媒を除去する。

- [0043] 第3の例では、工程(I)は、有機分子(B)と第2の溶媒とを含む第2の液体を半導体層が形成される領域に供給したのち、第2の溶媒を除去して有機半導体分子層を形成する工程と、複数の微粒子と第1の溶媒とを含む第1の液体を有機半導体分子層上に供給することによって有機分子(B)の末端基と微粒子とを化学結合させる工程とを含む。第3の例では、第1の液体を供給した際に、有機半導体分子層の有機分子(B)が第1の溶媒中に分散し、第1の溶媒中で有機分子(B)と微粒子とが反応する。第3の例では、工程(II)において、第1の溶媒を除去する。

- [0044] なお、上記第2または第3の例において、第1の液体を供給したのち第1の溶媒を除去する工程と、第2の液体を供給したのち第2の溶媒を除去する工程とを交互に複数回繰り返してもよい。

- [0045] 第4の例では、工程(I)によって得られる生成物がゲル状物である。この場合、工程(I)ののちであって工程(II)の前に、半導体層が形成される領域に上記ゲル状物を配置する工程をさらに含んでもよい。この場合、第3の工程において、ゲル状物中の溶媒を除去する。

- [0046] 本発明の製造方法によれば、本発明の電界効果トランジスタを製造できる。この製造方法で用いられる微粒子、環状分子および有機半導体分子、およびそれらの関係については、本発明の電界効果トランジスタについて説明したものと同様であるため、重複する説明を省略する。ただし、有機分子(B)の末端基が微粒子と化学結合する際に末端基の一部(たとえば水素)が脱離する場合があります、その場合には、有機分子(A)と有機分子(B)とは末端基の一部でわずかに異なる。

- [0047] 有機分子(B)の2つの末端基は、上記微粒子と化学結合する末端基である。たとえば、 $-SH$ (メルカプト基)、 $-OH$ 、 $-NH_2$ 、 $-SCH_3$ などを用いることができる。なお、 $-SCH_3$ は、通常、微粒子を構成する金属に配位結合する。微粒子の表面が金(Au)からなる場合、有機分子(B)の末端基はメルカプト基であることが好ましい。有機分子(B)の具体例および製造方法については後述する。

- [0048] 本発明の製造方法では、環状分子によって有機分子(A)の主鎖が包接されているため、その主鎖長が長くなった場合でも主鎖の直線性を維持できる。そのため、短絡

や漏れ電流が少なく、移動度が高く、安定な電界効果トランジスタを製造できる。また、この方法によれば、有機半導体分子を用いる半導体層において課題であった、酸素や水などに対する耐性も向上させることができる。

[0049] 以下、本発明の実施形態について例を挙げて説明する。ただし、本発明は以下の実施形態に限定されない。

[0050] [実施形態1]

実施形態1では、本発明の電界効果トランジスタ(薄膜トランジスタ:TFT)の具体例について説明する。

[0051] 図1A～図1Dは、本発明のFETの代表的な例を模式的に示す断面図である。図1A～図1Dに示すように、本発明のFETには様々な構成が存在する。いずれのFETも、基板11、ゲート電極12、ゲート絶縁層13、半導体層14、ソース電極15、およびドレイン電極16を備える。ゲート電極12はゲート絶縁層13を挟んで半導体層14と対向している。ゲート電極12により半導体層14に印加される電界によって、ON/OFF状態が制御される。半導体層14は上述した導電性の微粒子と、当該微粒子と化学結合するとともに環状分子によって包接された有機半導体分子とによって構成される。

[0052] 本発明のFETは、図2Aおよび図2Bのような構造であってもよい。図2Aおよび図2BのFET100eおよび100fでは、ソース電極15とドレイン電極16とが半導体層14を挟んで対向している。

[0053] 以下、一例として、図1BのFET100bについて説明する。図1Bに示すように、基板11の一主面上にはゲート電極12が形成され、ゲート電極12を覆うようにゲート絶縁層13が形成されている。ソース電極15およびドレイン電極16は、ゲート絶縁層13の上に、距離をおいて形成されている。そして、2つの電極およびゲート絶縁層13を覆うように、上述のような構成の半導体層14が形成されている。このように、FET100bでは、基板11上に、ゲート電極12、ゲート絶縁層13、2つの電極、および半導体層14が積層されている。

[0054] 次に、図1Dに示すFET100dを例に挙げて説明する。FET100dでは、ソース電極15およびドレイン電極16が、基板11の一主面上に、一定の距離をおいて形成さ

れている。半導体層14は、2つの電極と基板11とを覆うように形成される。ゲート絶縁層13は、半導体層14上に形成される。ゲート電極12は、ゲート絶縁層13上であって、少なくともソース電極15とドレイン電極16との間の領域に対応する位置に形成される。このように、FET100dでは、基板11上に、2つの電極、半導体層14、ゲート絶縁層13、およびゲート電極12が積層されている。

[0055] 以下に、本発明のFETについて、実施例を具体的に説明する。

[0056] [実施例1]

実施例1では、図1Bに示したFET100bを製造した一例について説明する。この例では、基板11としてポリエチレンテレフタレート(以下、「PET」という場合がある)のフィルムを用いた。ゲート電極12はNiで形成し、ソース電極15およびドレイン電極16はAuで形成した。ゲート絶縁層13は、ポリビニルアルコールで形成した。半導体層14を構成する材料に関して、微粒子としてはAu微粒子を用い、有機半導体分子としてはポリチオフェン誘導体を用い、環状分子としてはシクロデキストリンを用いた。有機半導体分子の平均主鎖長や、Au微粒子の平均粒径については後述する。なお、有機半導体分子の平均主鎖長は、材料となる分子の混合比率を変化させることによって調整した。また、Au微粒子の平均粒径は、所定の平均粒径を有する市販のAu微粒子をフィルターにかけて所定の径以上の微粒子を除去することによって調整した。

[0057] 環状分子として用いられるシクロデキストリンの構造を図3Aに示す。図3Aの一般式で示したシクロデキストリンは、グルコースの環状オリゴマーであり、グルコースの数によって環状構造の大きさが変化する。シクロデキストリンの中でも、 $n=4$ の α -シクロデキストリン、 $n=5$ の β -シクロデキストリン、および $n=6$ の γ -シクロデキストリンが一般的であり、包接する対象となる分子の大きさに合わせて好適なものを選択することができる。以下の図では、シクロデキストリンを図3Bのように模式的に示す場合がある。

[0058] 実施例1における有機分子(A)の状態を図4Aに示す。有機分子(A)のうち、繰り返し部分の一部がシクロデキストリンで覆われている。なお、シクロデキストリンが配置される方向は、図示している方向に限定されない(他の図においても同様である)。実

施例1では、図4Aに示すように、チオフェン環4個あたり β -シクロデキストリン1個となるように合成を行った。ただし、チオフェン環とシクロデキストリンとの比については、多少ばらつく場合がある。合成方法は後述する。ポリチオフェンの両末端は、メルカプト基由来の硫黄原子を介して微粒子中のAu原子と化学結合している。微粒子に結合する前の有機分子(B)は、図4Bの分子である。

[0059] ソース電極近傍の半導体層14の状態を、図5に模式的に示す。半導体層14中では、シクロデキストリンによって包接された有機分子53がAu微粒子52に末端の硫黄原子を介して結合している。有機分子53の2つの末端が、異なるAu微粒子52と結合することによって網目状のネットワークが形成される。なお、図5では、模式的に2次元的なネットワークを示しているが、実際には3次元的に導回路のネットワークが形成される。また、有機分子53は、Auによって構成されているソース電極51にも化学結合している。

[0060] 以下に、実施例1におけるFET100bの製造方法について説明する。まず、PET基板(厚み100 μ m)上に、ゲート電極12として、所定の形状のNi電極(厚み100nm)を、マスクを用いた蒸着によって形成した。次に、ポリビニルアルコールの水溶液をスピンコート法によって塗布した後、乾燥させ、ゲート絶縁層13(厚み500nm)を形成した。続いて、ゲート絶縁層13上に、所定の形状のソース電極15およびドレイン電極16を、マスクを用いた蒸着によって形成した。具体的には、チャンネル長50 μ m、チャンネル幅500 μ mとなるように、Auからなるソース・ドレイン電極(厚み100nm)を形成した。

[0061] 次に、Au微粒子の水分散液と図4Bの有機分子の水溶液とを、半導体層14を形成すべき領域に順次塗布した。次に、105℃に加熱することによって、溶媒(水)を蒸発させ、半導体層14(厚み500nm)を形成した。

[0062] このようにして、FET100bを作製した。また、シクロデキストリンで包接されていない図4Bの分子を有機分子(A)として用いたことを除き、上記と同様の方法で比較例のFETを作製した。なお、実施例1では、Au微粒子の粒径および有機半導体分子の平均主鎖長を変化させて、複数種のFETを作製した。ただし、どのFETも半導体層の厚さは同じとした。

[0063] 以上のように作製したFETについて、キャリア移動度と、ソースドレイン間の電流のON/OFF比とを評価した。キャリア移動度は、ソースドレイン間の電圧 V_{ds} を $-30V$ に固定し、ソースゲート間に印加する電圧 V_{gs} を $+50V \sim -80V$ まで掃印した場合における、ソースドレイン間に流れる電流値 I_{ds} を測定し、その値から算出した。なお、 $V_{ds} = -30V$ は、 V_{gs} の掃印範囲において I_{ds} が飽和電流となる電圧として選択した。ON/OFF比は、 V_{gs} が閾値電圧の $+20V$ であるときの I_{ds} と、 V_{gs} が閾値電圧の $-20V$ であるときの I_{ds} との比とした。半導体層を構成する微粒子の平均粒径および有機半導体分子(鎖状分子)の平均主鎖長と、キャリア移動度およびON/OFF比との関係について、評価結果を表1および表2に示す。表1には、本発明のFETの結果を示し、表2には比較例のFETの結果を示す。

[0064] [表1]

実施例		微粒子の平均粒径 (nm)					
		約10	約20	約30	約60	約100	約150
鎖状分子の平均主鎖長 (nm)	約3.5	—	—	—	—	—	—
	約5	5.1 (1×10^2)	9.6 (4×10)	—	—	—	—
	約10	2.8 (4×10^4)	4.9 (3×10^2)	7.1 (8×10)	—	—	—
	約20	1.6 (1×10^5)	2.7 (6×10^4)	3.8 (5×10^2)	7.4 (1×10^2)	—	—
	約30	1.3 (5×10^5)	1.9 (2×10^5)	2.5 (5×10^4)	5.3 (2×10^2)	8.3 (5×10)	—

上段: キャリア移動度 ($\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$)

下段: ON/OFF比

[0065] [表2]

比較例		微粒子の平均粒径 (nm)		
		約10	約20	約30
鎖状分子の平均主鎖長 (nm)	約3.5	—	—	—
	約5	3.5 (8×10)	6.7 (2×10)	—
	約10	1.2 (3×10^2)	2.0 (8×10)	—
	約20	0.4 (5×10^2)	0.7 (2×10^2)	—
	約30	0.2 (6×10^2)	0.5 (4×10^2)	—

上段: キャリア移動度 ($\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)

下段: ON/OFF比

[0066] 表1および2において、「—」のマークは、ソースドレイン間の短絡によってFET特性が得られなかったことを表している。比較例のFETにおいては、微粒子の平均粒径が30nm以上であると、ソースドレイン間が短絡してFET特性が得られなかった。また、FET特性が得られた場合でも、比較例のFETは、ソースドレイン間の電流のON/OFF比が600以下と低かった。また、比較例のFETは、本発明のFETに比べて、キャリア移動度が低かった。

[0067] 比較例のFETでは、有機半導体分子が環状分子によって包接されていないため、有機半導体分子の平均主鎖長が長いと直線性が維持できず、折れ曲がった分子構造になってしまうと考えられる。このため、比較例のFETでは、有機半導体分子の実効的な平均主鎖長が短いために特性が低下すると考えられる。

[0068] これに対して、本発明のFETにおいては、微粒子の平均粒径が100nmであっても、平均主鎖長が30nmの有機半導体分子を用いることによってFET特性を得ることができた。しかし、実施例1で用いた有機半導体分子では、平均主鎖長が30nmを超えるような長鎖の分子を合成することは容易ではなく、合成できたとしても安定性が悪くプロセス上の制約が多い。そのため、有機半導体分子の平均主鎖長は30nm程度以下であることが好ましい。従って、実施例1の有機半導体分子を用いる場合、微粒子の平均粒径が100nmを超えると、FET特性を得ることは容易ではない。

[0069] 本発明のFETでは、有機分子(A)の平均主鎖長が微粒子の平均粒径以上である場合には、ON/OFF比が10000以上であった。本発明のFETでは、キャリア移動度とON/OFF比とはトレードオフの関係にあるので、応用するアプリケーションに応じて最適化することが好ましい。なお、本発明のFETで得られるキャリア移動度は、塗布プロセスで形成される一般的な有機FETで得られるキャリア移動度を十分に上回っている。

[0070] [実施例2]

実施例2では、図1DのFET100dを製造した一例について説明する。この例では、FETの各構成要素の材料は、実施例1で使用した材料と同じとした。Au微粒子の平均粒径は約20nmとし、有機半導体分子の平均主鎖長は約30nmとした。

[0071] 以下に、実施例2におけるFET100dの製造方法について説明する。まず、PET基板(厚み100 μ m)上に、所定の形状のソース電極15およびドレイン電極16を、マスクを用いた蒸着によって形成した。具体的には、チャンネル長50 μ m、チャンネル幅500 μ mとなるように、Auからなるソース・ドレイン電極(厚み100nm)を形成した。

[0072] 次に、半導体層14を形成すべき領域にAu微粒子の水分散液を塗布し、105℃で加熱して溶媒を蒸発させ、Au微粒子の層を形成した。次に、図4Bの分子の水溶液をAu微粒子の層上に塗布し、Au微粒子と図4Bの有機分子とを結合させた。次に、再度105℃で加熱して溶媒を蒸発させ、半導体層14(厚み500nm)を形成した。

[0073] 次に、ポリビニルアルコールの水溶液をスピンコート法によって塗布した後、乾燥させ、ゲート絶縁層13(厚み500nm)を形成した。次に、ゲート電極12としてNi電極(厚み100nm)を、マスクを用いた蒸着によって形成した。このようにして、FET100bを作製した。

[0074] 実施例1と同様に、キャリア移動度とON/OFF比とを評価した。その結果、キャリア移動度が1.7cm²/Vsであり、ON/OFF比が 3×10^5 であった。

[0075] [実施例3]

実施例3では、図2AのFET100eを製造した一例について説明する。この例では、FETの各構成要素の材料は、実施例1で使用した材料と同じとした。Au微粒子の平均粒径は約20nm、鎖状分子の平均主鎖長は約30nmとした。

- [0076] 以下に、実施例3におけるFET100eの製造方法について説明する。まず、PET基板(厚み $100\mu\text{m}$)上に、ゲート電極12として、所定の形状のNi電極(厚み 100nm)を、マスクを用いた蒸着によって形成した。次に、ポリビニルアルコールの水溶液をスピコート法によって塗布した後、乾燥させ、ゲート絶縁層13(厚み 500nm)を形成した。続いて、ゲート絶縁層13上に、所定の形状のソース電極15を、マスクを用いた蒸着によって形成した。
- [0077] 次に、Au微粒子の水分散液と図4Bの有機半導体分子の水溶液とを混合して、ゲル状物を得た。このゲル状物を、半導体層14を形成すべき領域に塗布した後、 105°C で加熱して液体成分を蒸発させ、半導体層14(厚み 500nm)を形成した。
- [0078] 次に、Auからなるドレイン電極16(厚み 100nm)を、マスクを用いた蒸着によって形成した。ドレイン電極16は、チャンネル幅が $100\mu\text{m}$ となるように形成した。この例のFET100eでは、半導体層14の厚み(500nm)がチャンネル長となる。このようにして、FET100eを作製した。
- [0079] 実施例1と同様に、キャリア移動度とON/OFF比の評価を行った結果、キャリア移動度が $1.4\text{cm}^2/\text{Vs}$ であり、ON/OFF比が 2×10^4 であった。ただし、実施例3のFETは、実施例1および2のFETに比べてチャンネル長が短いので、 V_{ds} は -3V に固定して測定を行った。
- [0080] なお、上記実施例では主鎖長がほぼ一定である有機半導体分子を用いたが、主鎖長が異なる複数種の有機半導体分子を適当な混合比で用いてもよい。たとえば、図6に示すように、所定の主鎖長の有機半導体分子63を主とし、主鎖長がより長い有機半導体分子64を混在させてもよい。これにより、図5の場合に比べて、より多くの有機半導体分子によって微粒子62間が結合されるので、半導体層に流せる電流を増加できる。混在させる鎖長に制限はないが、主となる有機半導体分子の鎖長はそれらの中の一番短いものとするのが好ましい。そうした場合、主となる有機半導体分子によって微粒子を含むネットワークが形成され、それより長い有機半導体分子はその間を埋めていくのに利用される。
- [0081] また、上記実施例では、図4Bに示した有機半導体分子を用いた場合のみについて説明したが、本発明で利用できる有機半導体分子はこれらに限定されない。たとえ

ば、図7Aに示す化合物や図7Bに化合物に示す化合物を用いてもよい。これらの化合物の合成方法の一例については後述する。

[0082] 環状分子は、有機半導体分子の直線性がある程度保持できる限り、図7Aおよび図7Bに示すように有機半導体分子の一部を被覆していればよい。ただし、有機半導体分子の直線性を高めるため、 π 電子共役鎖の主鎖長の3割以上が環状分子で被覆されていることが好ましい。

[0083] 有機分子(A)および(B) (共役 π 電子系分子)には、ポリアセチレンやポリフェニルアセチレンといったアセチレン系分子の誘導体を用いてもよい。また、縮合環芳香族炭化水素およびその誘導体、たとえば、テトラセン、ヘキサセンといったアセン系列の分子の誘導体や、フェナントレン、クリセンといったフェン系列の分子の誘導体を用いてもよい。また、ポリピロールやポリアルキルピロールといったピロール系分子の誘導体や、オリゴフェニレンやポリフェニレンといったフェニレン系分子の誘導体を用いてもよい。また、これらの分子同士や、ビニル基やエチニル基などを組み合わせたコポリマーの誘導体を用いてもよい。また、上述のような分子の主鎖に対して一部側鎖が導入されていてもよい。

[0084] なお、上記実施例では、環状分子で包接された共役鎖がメルカプト基由来の硫黄原子を介してAu原子と化学結合する場合について説明したが、末端の形態はこれに限定されない。たとえば、図8に示すように、ポルフィリン誘導体のような嵩高い分子を介在させてもよい。このような嵩高い分子で末端を修飾することによって、半導体層形成時に有機半導体分子を包接する環状分子が脱落することを防止できる。

[0085] なお、上記実施例では微粒子としてAu微粒子を用いたが、本発明はこれに限定されない。Au微粒子の代わりに、Ag、Cu、Ptなどの微粒子を用いても同様の効果が得られる。有機半導体分子の末端基は、微粒子に応じて適当なものを選択すればよい。微粒子の表面を構成する金属と末端基との好ましい組み合わせ(金属/末端基)としては、たとえば、Au/—SH、Pt/—SH、Ca/—OHが挙げられる。また、上記で選択される元素において、周期律表の同属に分類されるものは近い性質を示すことから、例えば硫黄原子をSeやTeと置き換えることも可能である。

[0086] [実施形態2]

実施形態2では、実施形態1で説明した本発明のFETを備える機器の例として、アクティブマトリクス型ディスプレイ、無線IDタグ、および携帯用機器について説明する。

[0087] アクティブマトリクス型ディスプレイの一例として、表示部に有機ELを用いたディスプレイについて説明する。ディスプレイの構成を模式的に示す一部分解斜視図を、図9に示す。

[0088] 図9に示すディスプレイは、プラスチック基板91上にアレイ状に配置された駆動回路90を備える。駆動回路90は本発明のFETを含み、画素電極に接続されている。駆動回路90の上には、有機EL層92、透明電極93および保護フィルム94が配置されている。有機EL層92は、電子輸送層、発光層および正孔輸送層といった複数の層が積層された構造を有する。各FETの電極に接続されたソース電極線95とゲート電極線96とは、それぞれ、制御回路(図示せず)へ接続される。

[0089] 駆動回路90およびその周辺の一例の拡大図を、図10に示す。図10に示すFETの構造は、基本的に図1Cに示す構造と同様である。つまり、図10に示すFETでは、半導体層104と、ソース電極105およびドレイン電極106と、ゲート絶縁層103と、ゲート電極102とが基板上に積層されている。ドレイン電極106は有機ELの画素電極107に電氣的に接続されている。ゲート電極102が接続されたゲート電極線96と、ソース電極105が接続されたソース電極線95とが交差する部分には、絶縁層108が形成されている。半導体層104は、実施形態1で説明したような半導体層である。

[0090] キャリア移動度が高い本発明のFETを用いることによって、表示速度(反応速度)が速く、安価なアクティブマトリクス型のディスプレイを実現できる。また、本発明のFETを使用することによって、柔軟性および耐衝撃性を備えたシートライクなディスプレイを実現できる。

[0091] なお、この実施形態では、表示部に有機ELを用いた場合について説明したが、本発明はこれに限定されない。本発明は、FETを含む回路を備える他のアクティブマトリクス型のディスプレイに適用でき、それによって同様の効果が得られる。

[0092] また、画素を駆動する駆動回路部の構成は、この実施形態で示した構成には限定されない。たとえば、1つの画素を駆動するために電流駆動用のFETとそれを制御

するためのスイッチング用FETとを組み合わせた構成としてもよい。また、さらに複数のFETを組み合わせた構成としてもよい。また、FETは、この実施形態で示したFETに限定されず、本発明の他のFETを用いることによって同様の効果が得られる。

[0093] 次に、本発明のFETを無線IDタグに応用した場合について説明する。本発明のFETを用いた無線IDタグの一例の斜視図を、図11に模式的に示す。なお、図11では、アンテナ部とメモリーIC部とを接続する配線や、整合回路などの図示を省略する。

[0094] 図11に示すように、無線IDタグ110は、フィルム状のプラスチック基板111を基板として使用している。この基板111上には、アンテナ部112とメモリーIC部113とが設けられている。ここで、メモリーIC部113は、実施形態1において説明したような本発明のFETを利用して構成される。無線IDタグ110は、基板の裏面に粘着効果を持たせることによって、菓子袋やドリンク缶のような平坦でないものに貼り付けることが可能である。なお、無線IDタグ110の表面には、必要に応じて保護膜が設けられる。

[0095] このように、本発明のFETを用いることによって、様々な素材の物品へ貼り付けることが可能で様々な形状の無線IDタグが得られる。また、キャリア移動度が高い本発明のFETを用いることによって、反応速度(処理速度)が速く、通信周波数の高い無線IDタグが得られる。

[0096] なお、本発明の無線IDタグは、図11に示した無線IDタグに限定されない。従って、アンテナ部およびメモリーIC部の配置や構成に限定はない。たとえば、論理回路を無線IDタグに組み込んでもよい。

[0097] また、この実施形態では、アンテナ部112とメモリーIC部113とをプラスチック基板111上に形成する場合について説明したが、本発明はこの形態に限定されない。たとえば、インクジェット印刷のような方法を用いて、対象物に直接、アンテナ部112とメモリーIC部113とを形成してもよい。その場合も、本発明のFETを形成することによって、キャリア移動度が改善されたFETを備える無線IDタグを低コストで製造できる。

[0098] 次に、本発明のFETを含む集積回路を備える携帯用機器について説明する。携帯用機器の集積回路には、演算素子や記憶素子やスイッチング素子など、半導体の特性を利用した様々な素子が用いられる。これらの素子の少なくとも一部に本発明のFETを用いることによって、機械的柔軟性、耐衝撃性、捨てる際の対環境性、軽量、安

価といった特性に優れるという有機材料の利点を備える携帯用機器を製造できる。

[0099] 本発明の電子機器の例として、3つの携帯用機器を図12～図14に示す。

[0100] 図12に示す携帯テレビ120は、表示装置121、受信装置122、側面スイッチ123、前面スイッチ124、音声出力部125、入出力装置126、記録メディア挿入部127を備える。本発明のFETを含む集積回路は、携帯テレビ120を構成する演算素子や記憶素子やスイッチング素子などの素子を含む回路として使用される。

[0101] 図13に示す通信端末130は、表示装置131、送受信装置132、音声出力部133、カメラ部134、折りたたみ用可動部135、操作スイッチ136、音声入力部137を備える。本発明のFETを含む集積回路は、通信端末130を構成する演算素子や記憶素子やスイッチング素子などの素子を含む回路として使用される。

[0102] 図14に示す携帯用医療機器140は、表示装置141、操作スイッチ142、医療的処置部143、経皮コンタクト部144を備える。携帯用医療機器140は、たとえば腕145などに巻き付けられて携行される。医療的処置部143は、経皮コンタクト部144から得られる生態情報を処理し、それに応じて経皮コンタクト部144を通じて薬物投与などの医療的処置を行う部分である。本発明のFETを含む集積回路は、携帯用医療機器140を構成する演算素子や記憶素子やスイッチング素子などの素子を含む回路として使用される。

[0103] なお、本発明のFETを応用した携帯用機器の構成について、例を挙げて説明したが、本発明はこれらの構成に限定されない。また、本発明のFETを適用できる携帯用機器は、例示した機器に限定されない。本発明のFETは、PDA端末や、ウェアラブルなAV機器、ポータブルなコンピュータ、腕時計タイプの通信機器など、機械的柔軟性、耐衝撃性、捨てる際の対環境性、軽量性、安価といった特性が要求される機器に好適に応用できる。

[0104] [平均粒径の算出方法]

以下に、半導体層中の微粒子の平均粒径の算出方法について説明する。まず、半導体層の一部の断面の写真を撮影する。図15Aは、FETを構成する半導体層151の一部の断面を模式的に示す。半導体層151の断面151aを観察することによって、導電性の微粒子152が有機半導体材料153の内部に分散されている状態が容易に

確認できる。

[0105] 半導体層151の断面151aをSEMやTEMによって観察すると、図15Aに示すように、色調の違い(又は、濃淡の違い)によって、微粒子152と有機半導体材料153とを区別して認識することが可能である。例えば、図15Aの例では、微粒子152は黒色体として認識可能である。一方、有機半導体材料153は白色体として認識可能である。観察の方法によって、各部分の色や色調は変化するが、微粒子152と有機半導体材料153との間で、色および／または色調が異なる。そのため、撮影した写真を画像処理して2値化することによって、微粒子152と有機半導体材料153とを区別することが可能である。画像処理されたデータから、それぞれの微粒子152の部分の面積が算出される。この面積を用いて、微粒子152の断面が真円であると仮定して個々の微粒子152の粒径が算出される。なお、実施例では、半導体層の断面のTEM写真を観察することによって、平均粒径を算出した。粒径分布の一例を図15Bに示す。この明細書において、「平均粒径」とは、上記方法によって、100個以上の微粒子の粒径を算出し、その粒径を平均することによって得られる値である。

[0106] [図4Bに示される有機分子の合成方法]

以下に、図4Bに示される化合物の合成方法の一例を示す。まず、図16に示す化合物(1)および(2)を出発材料として、図16に示す反応条件で化合物(6)を合成する。また、図16に示す化合物(7)を出発材料として、化合物(8)を合成する。次に、図17に示す化合物(10)、図16に示した化合物(6)および(8)、ならびに複数の α -シクロデキストリンを用いて、化合物(11)を合成する。化合物(11)を多量の水で精製したのち、酸で処理すると、リチウム原子が水素原子に置換される。このようにして、図4Bの化合物を合成できる。

[0107] [図7Aに示される有機分子の合成方法]

以下に、図7Aに示される化合物の合成方法の一例を示す。まず、図18に示す化合物(21)を出発材料として、図18に示す反応条件で化合物(25)を合成する。次に、化合物(25)、化合物(10)および図16に示した化合物(8)、および複数の α -シクロデキストリンを用いて、図18に示す反応条件で化合物(26)を合成する。化合物(26)を多量の水で精製したのち、酸で処理すると、リチウム原子が水素原子に置換さ

れる。図7Aの化合物を合成できる。

[0108] [図7Bに示される有機分子の合成方法]

以下に、図7Bに示される化合物の合成方法の一例を示す。図19に示すように、化合物(10)、図18に示した化合物(25)、化合物(31)および複数の β -シクロデキストリンを出発材料として、化合物(32)を合成する。化合物(32)を多量の水で精製したのち、酸で処理すると、リチウム原子が水素原子に置換される。このようにして、図7Bの化合物を合成できる。

[0109] なお、導電性微粒子に結合する有機半導体分子として、図20A、図20Bおよび図20Cに示す化合物を用いてもよい。

産業上の利用可能性

[0110] 本発明は、有機半導体分子を含む半導体層を備える電界効果トランジスタ、およびその製造方法に適用できる。また、本発明は、そのような電界効果トランジスタを備える各種の電子機器に適用できる。

請求の範囲

- [1] チャンネル領域として機能する部分を含む半導体層を備える電界効果トランジスタであって、
- 前記半導体層が、前記半導体層内に分散された複数の導電性の微粒子と、前記微粒子に化学結合して前記微粒子間を連結する有機半導体分子と、環状分子とを構成要素として含み、
- 前記有機半導体分子は π 電子共役鎖を主鎖として含み、
- 前記 π 電子共役鎖が前記環状分子によって包接されている電界効果トランジスタ。
- [2] 前記有機半導体分子の平均主鎖長が、前記微粒子の平均粒径以上である請求項1に記載の電界効果トランジスタ。
- [3] 前記有機半導体分子は、主鎖長が異なる複数種の分子を含む請求項2に記載の電界効果トランジスタ。
- [4] 前記環状分子がシクロデキストリンである請求項2に記載の電界効果トランジスタ。
- [5] 前記微粒子の平均粒径が10nm～100nmの範囲にある請求項2に記載の電界効果トランジスタ。
- [6] 前記 π 電子共役鎖の末端に、前記環状分子の内径よりも幅が大きい原子団が結合している請求項2に記載の電界効果トランジスタ。
- [7] 前記半導体層に接触する電極を含み、
- 前記電極の表面と前記微粒子の表面とが同じ金属元素を主成分とし、
- 一部の前記有機半導体分子が、前記電極の表面と前記微粒子との両方に化学結合している請求項2に記載の電界効果トランジスタ。
- [8] 少なくとも1つの電界効果トランジスタを含む電子機器であって、
- 前記電界効果トランジスタが、チャンネル領域として機能する部分を含む半導体層を備え、
- 前記半導体層が、前記半導体層内に分散された複数の導電性の微粒子と、前記微粒子に化学結合して前記微粒子間を連結する有機半導体分子と、環状分子とを構成要素として含み、
- 前記有機半導体分子は π 電子共役鎖を主鎖として含み、

前記 π 電子共役鎖が前記環状分子によって包接されている電子機器。

[9] 前記有機半導体分子の平均主鎖長が、前記微粒子の平均粒径以上である請求項 8 に記載の電子機器。

[10] 複数の導電性の微粒子を含む半導体層を備える電界効果トランジスタの製造方法であって、

(I) 複数の前記微粒子と、環状分子によって包接された π 電子共役鎖と前記 π 電子共役鎖の両末端に配置され前記微粒子と化学結合する 2 つの末端基とを備える有機半導体分子とを、溶媒中で接触させることによって、前記有機半導体分子の前記末端基と前記微粒子とを化学結合させる工程と、

(II) 前記溶媒を除去する工程と、を含む電界効果トランジスタの製造方法。

[11] 前記有機半導体分子の平均主鎖長が、前記微粒子の平均粒径以上である請求項 10 に記載の電界効果トランジスタの製造方法。

[12] 前記 (I) の工程は、複数の前記微粒子と第 1 の溶媒とを含む第 1 の液体と、前記有機半導体分子と第 2 の溶媒とを含む第 2 の液体とを前記半導体層が形成される領域に供給することによって、前記領域において前記有機半導体分子の前記末端基と前記微粒子とを化学結合させる工程を含む請求項 11 に記載の電界効果トランジスタの製造方法。

[図1]

Fig. 1A

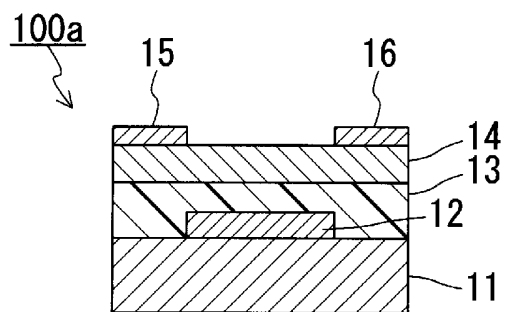


Fig. 1B

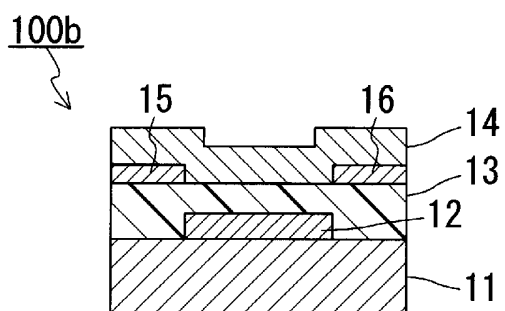


Fig. 1C

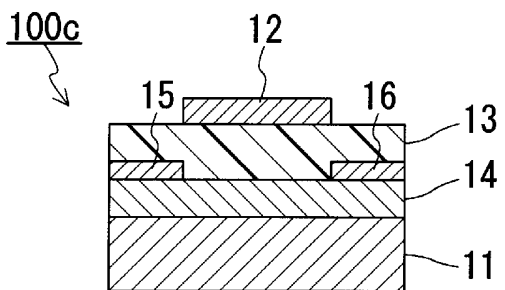
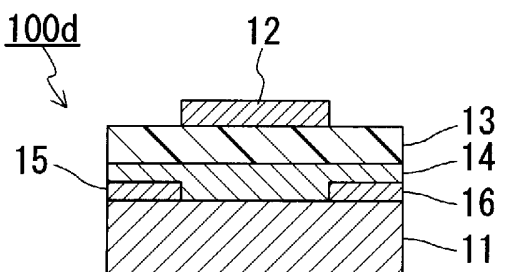


Fig. 1D



[図2]

Fig. 2A

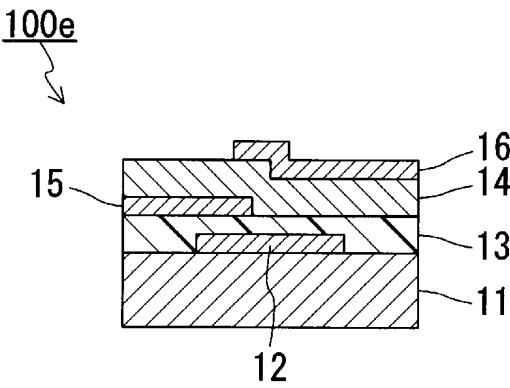
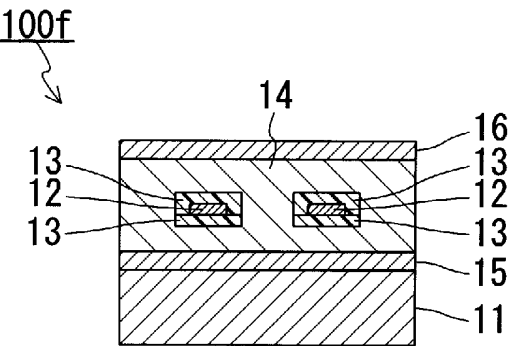


Fig. 2B



[図3]

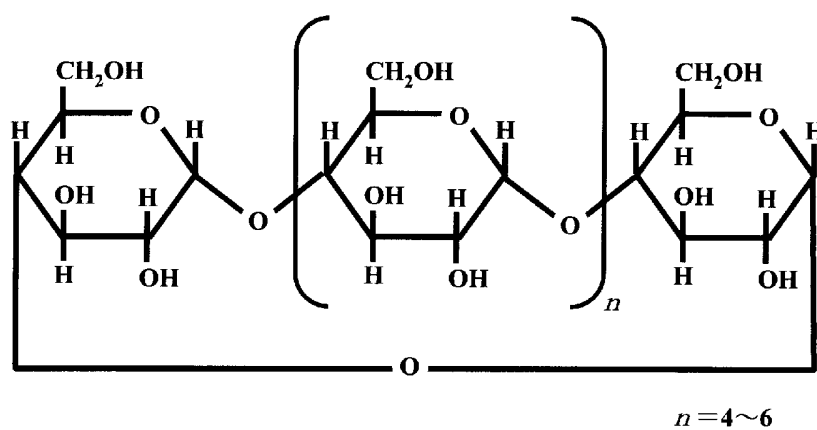


Fig.3A

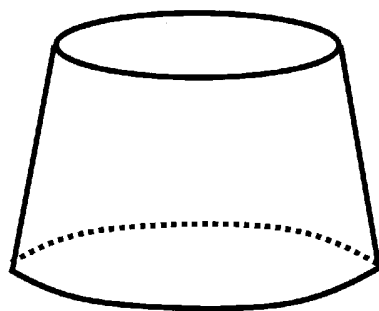


Fig.3B

[図4]

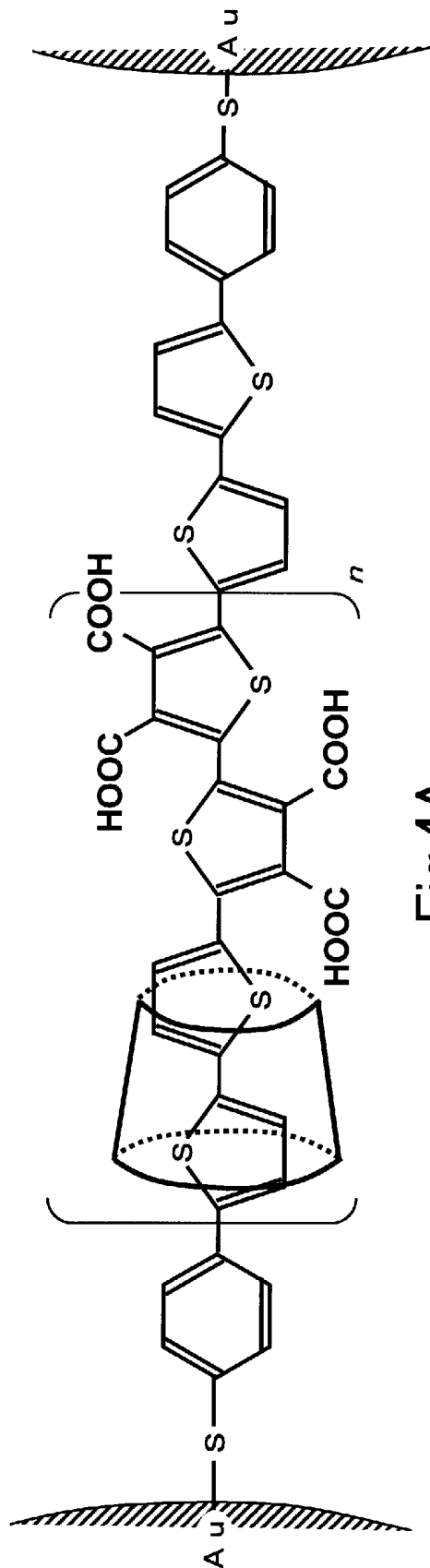


Fig.4A

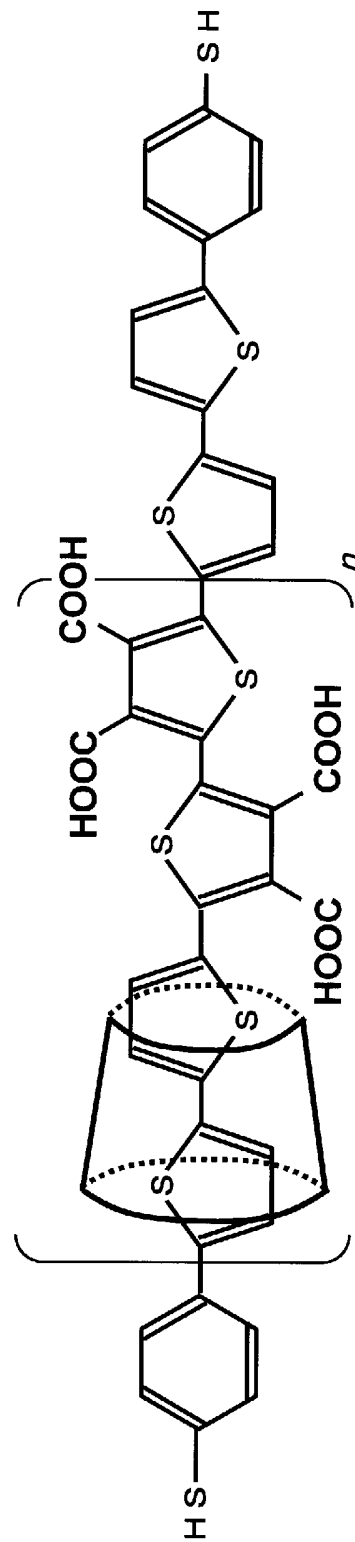


Fig.4B

[図5]

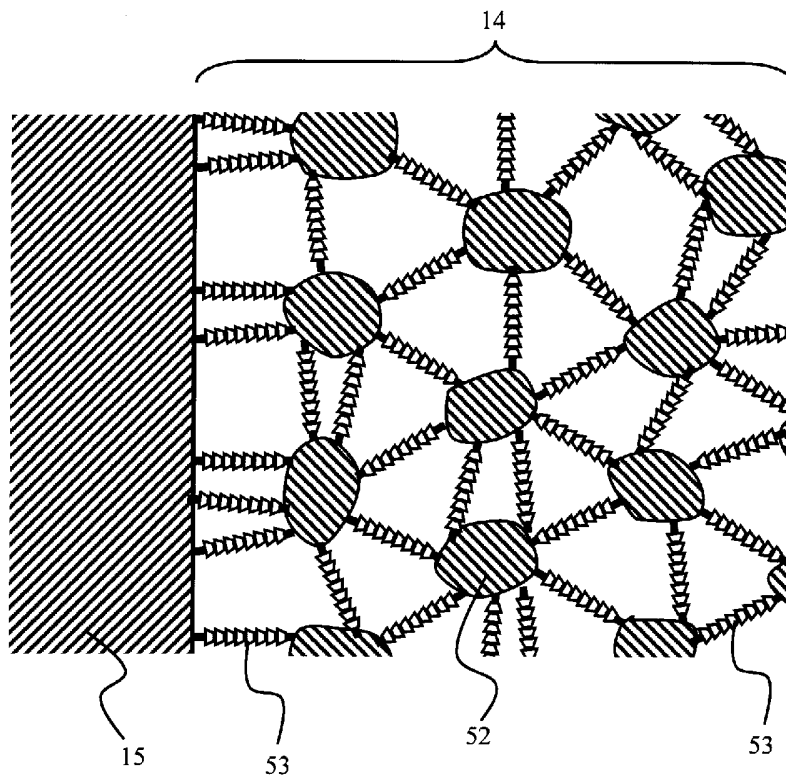


Fig.5

[図6]

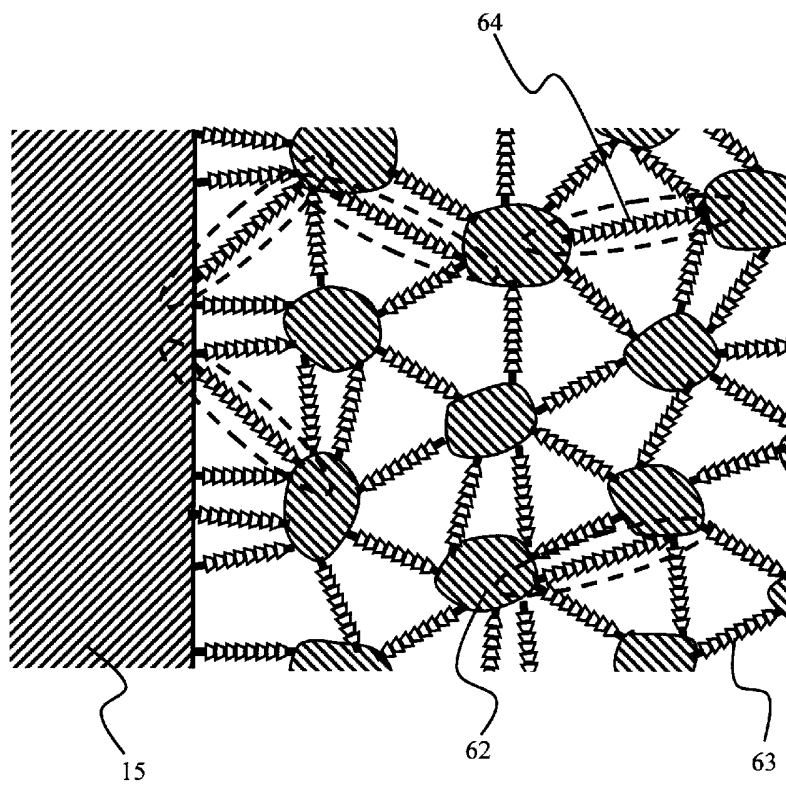


Fig.6

[図7]

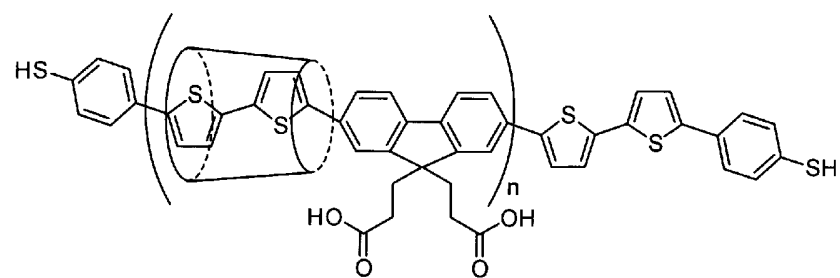


Fig.7A

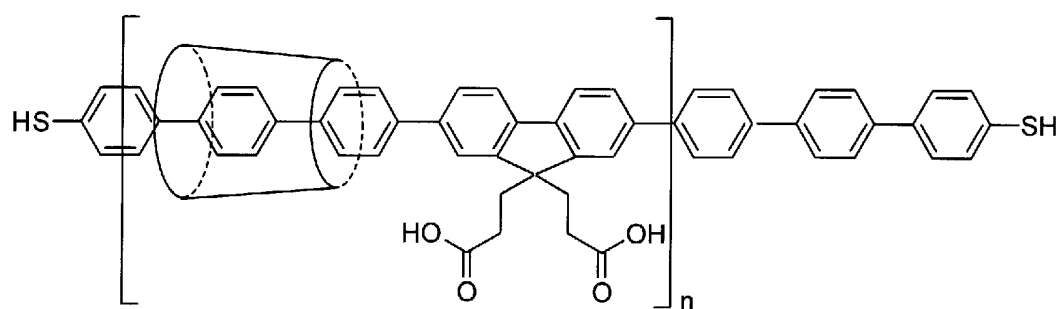


Fig.7B

[図8]

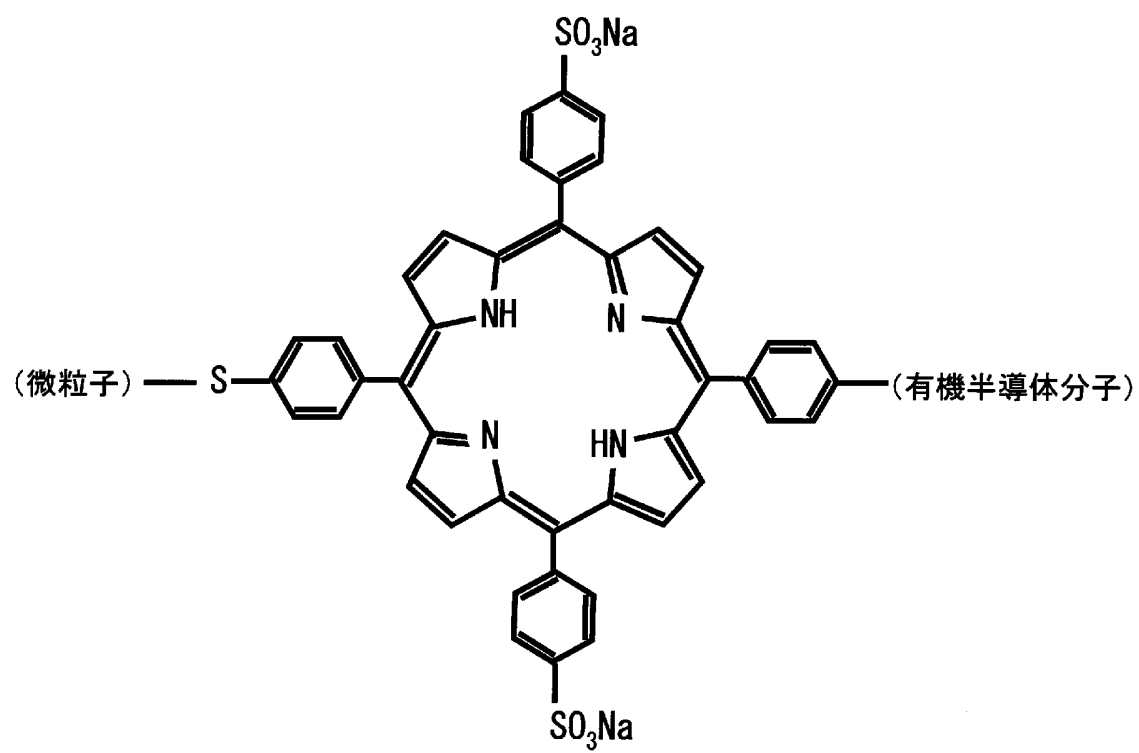


Fig.8

[図9]

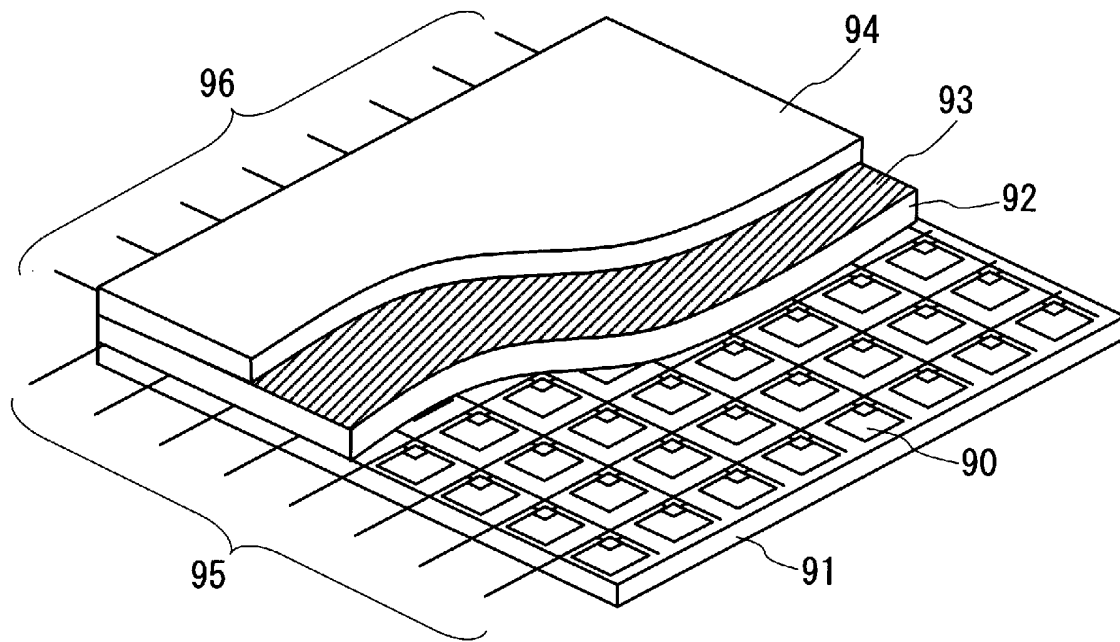


Fig. 9

[図10]

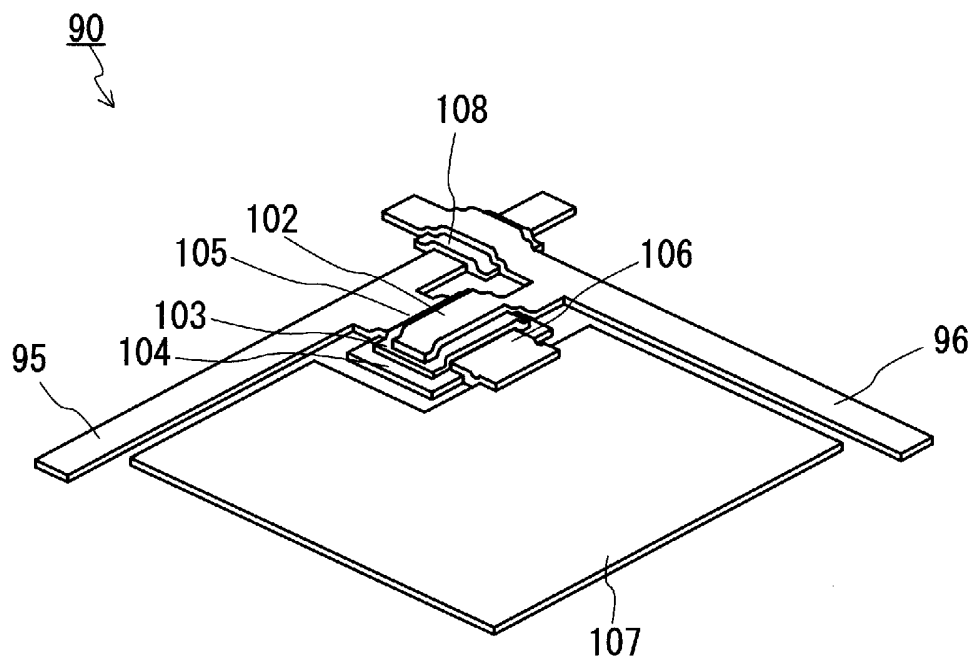


Fig. 10

[図11]

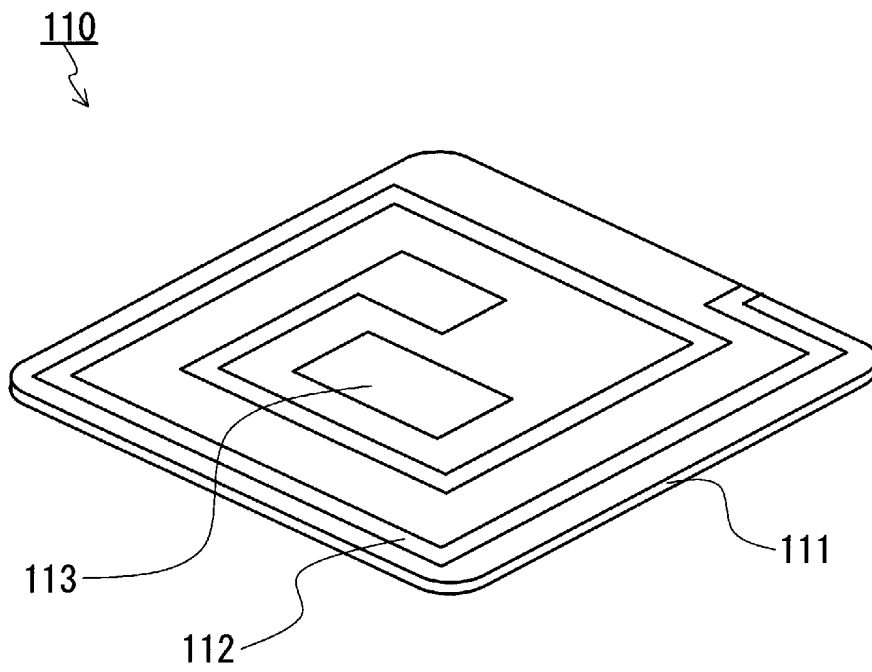


Fig. 11

[図12]

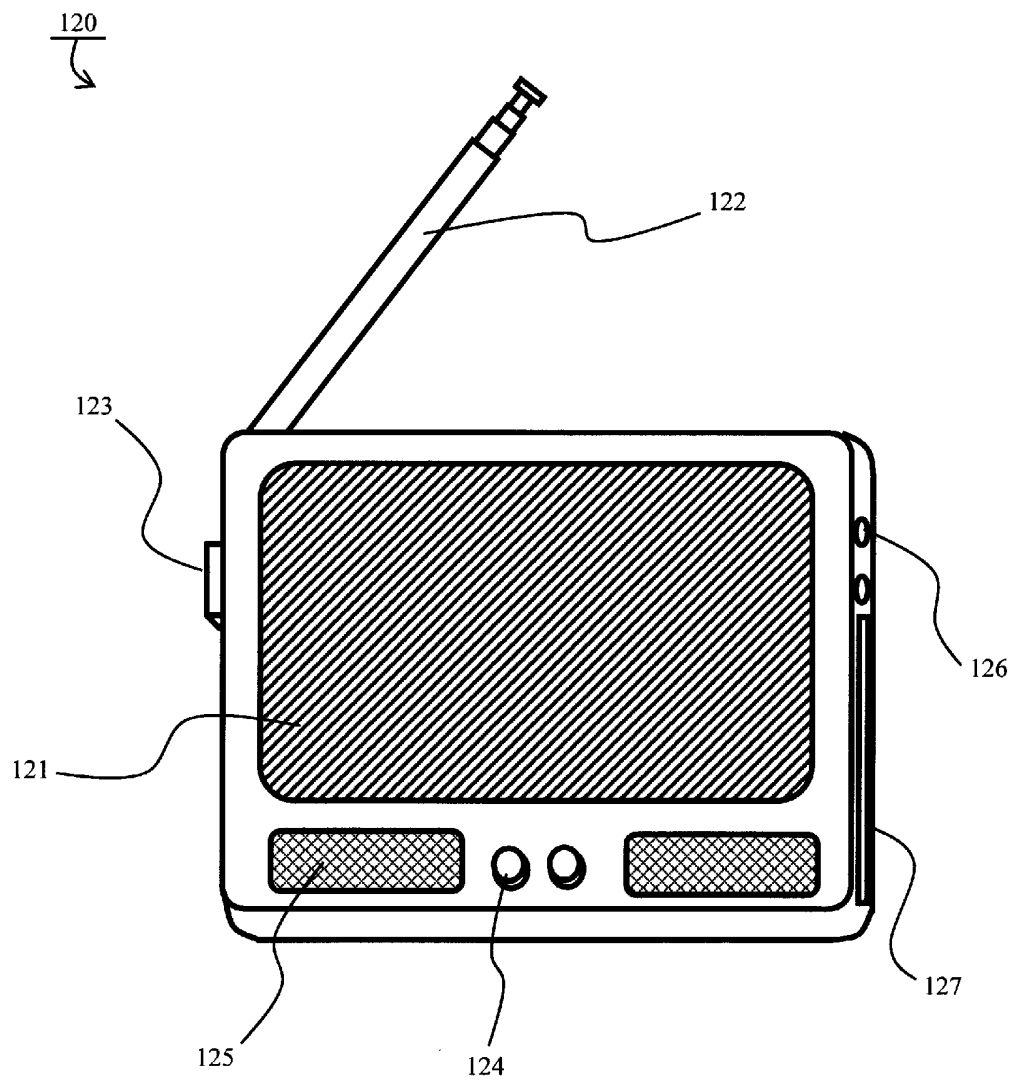


Fig.12

[図13]

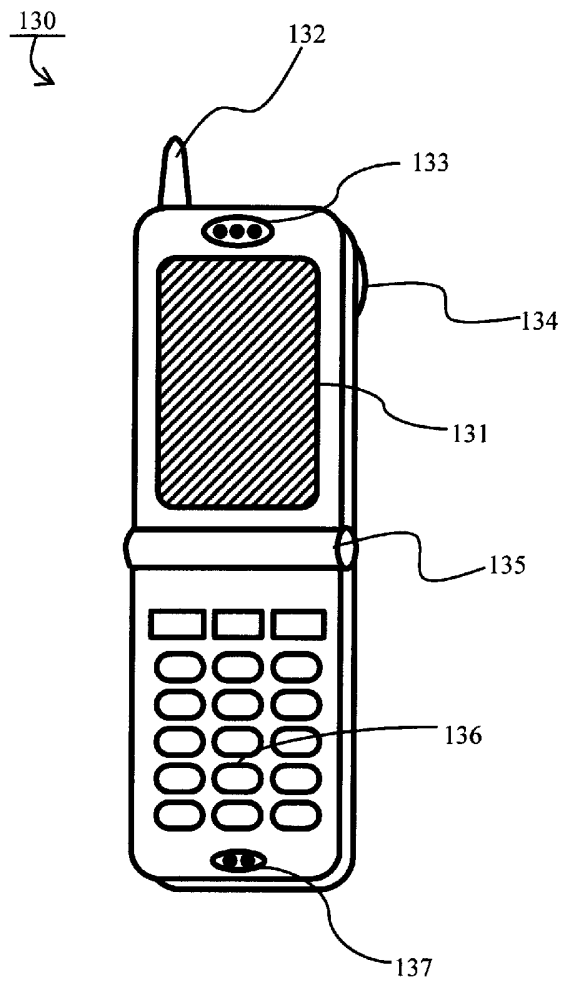


Fig.13

[図14]

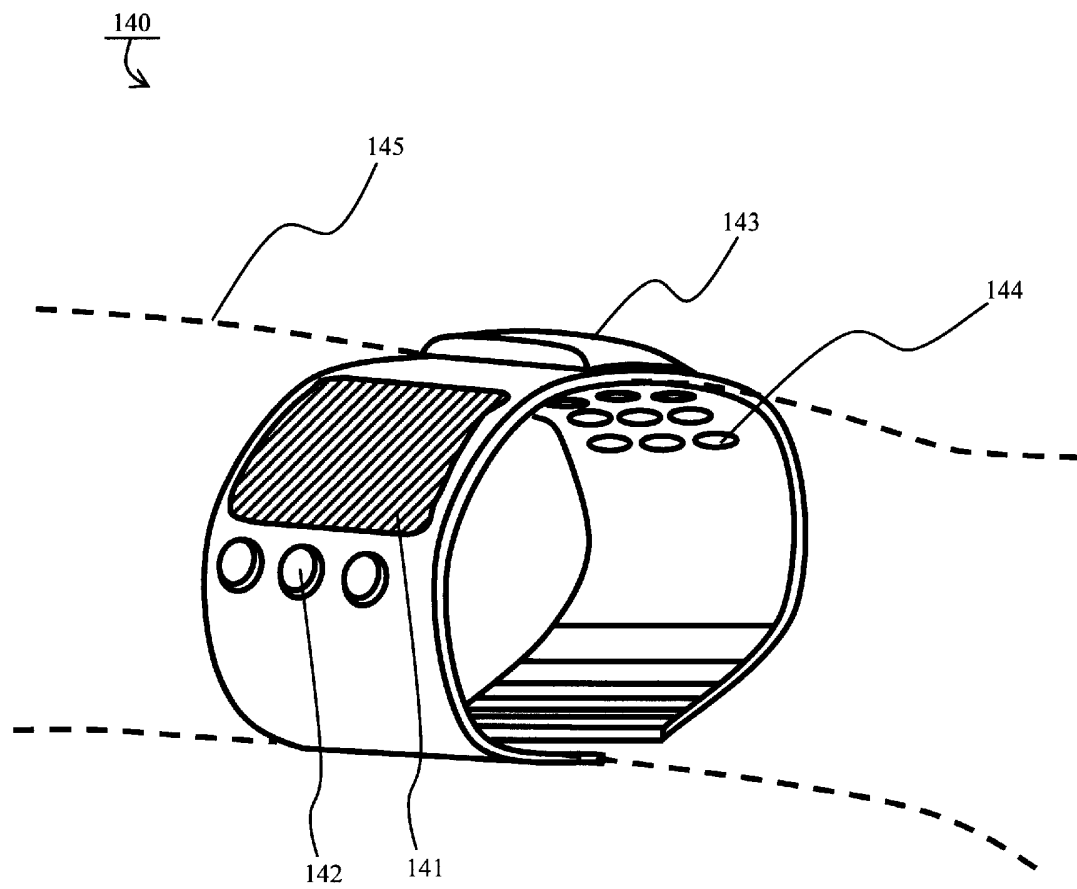


Fig.14

[図15]

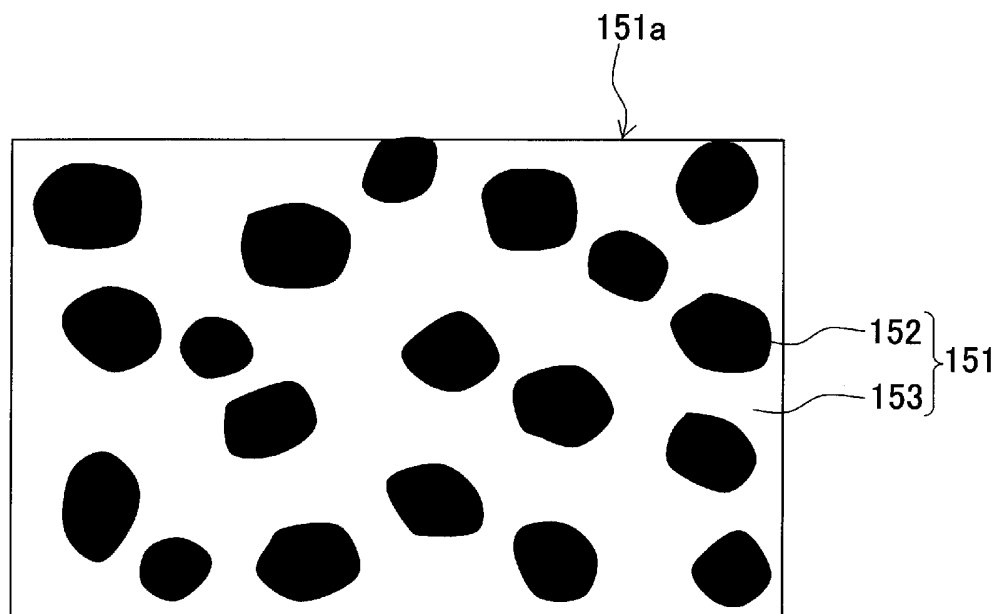


Fig.15A

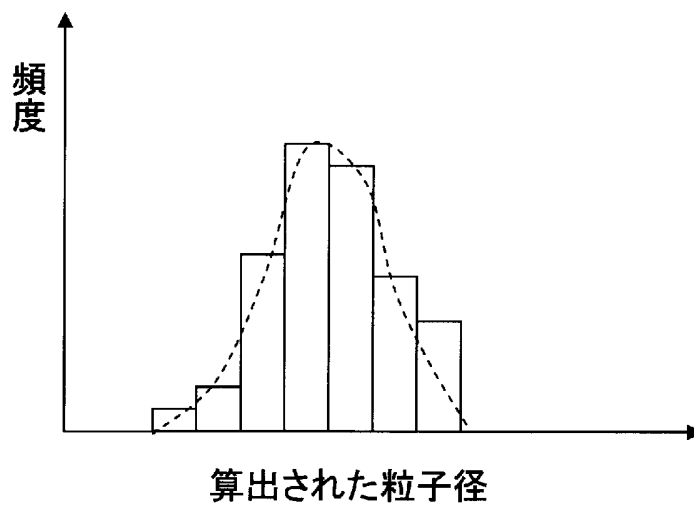


Fig.15B

[図16]

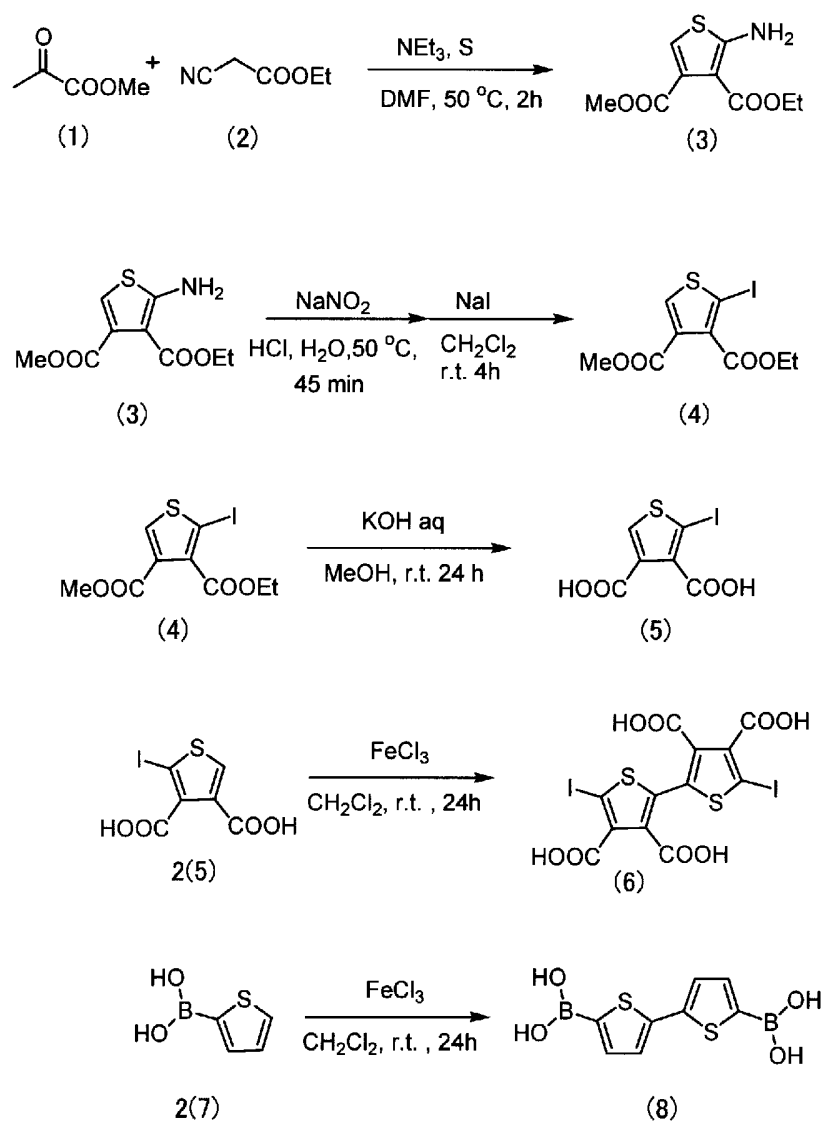


Fig.16

[図17]

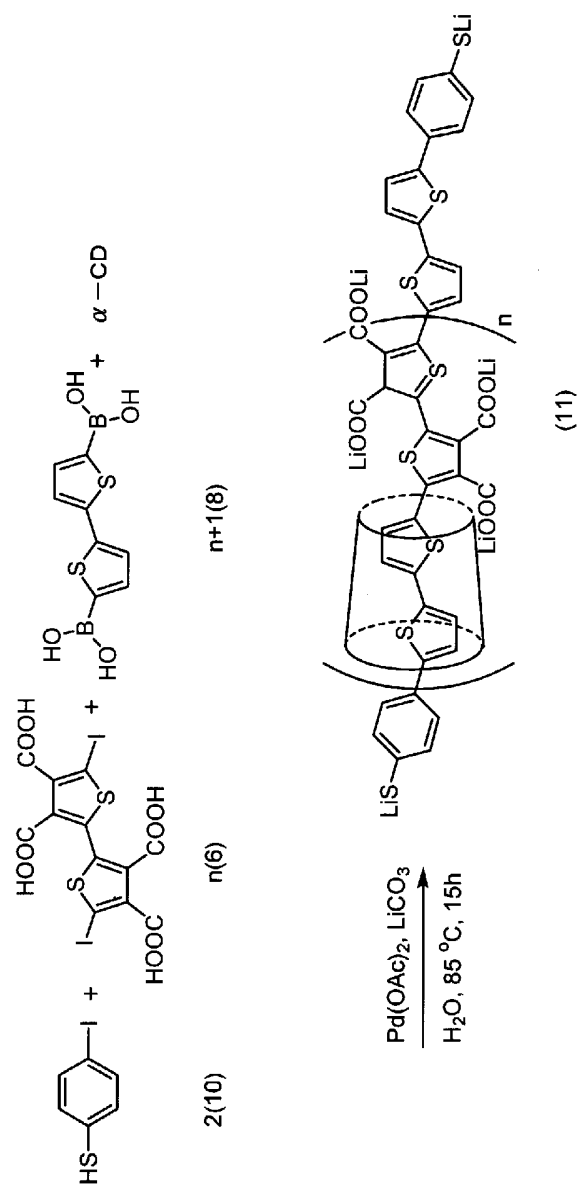


Fig.17

[図18]

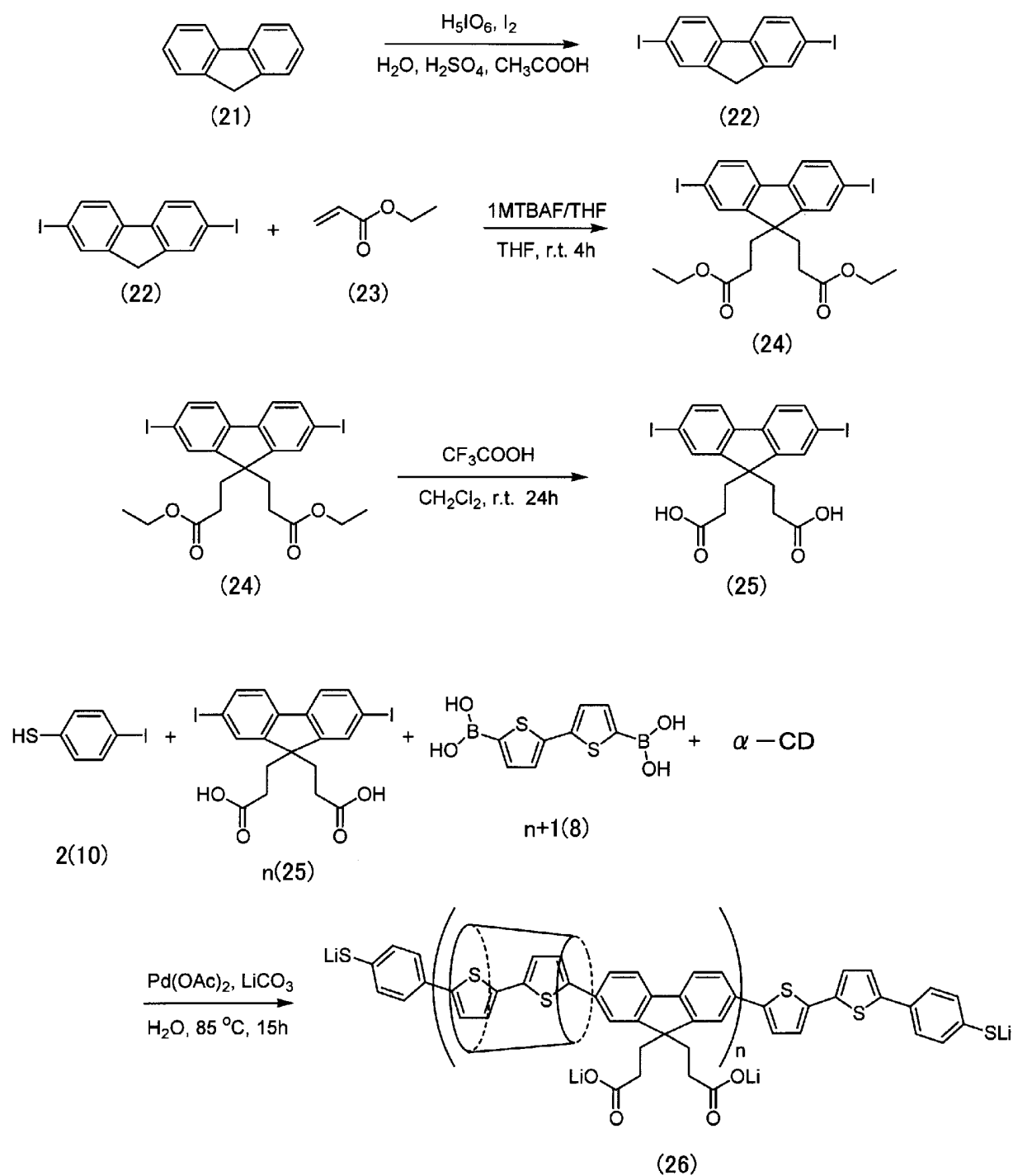


Fig.18

[図20]

Fig.20A

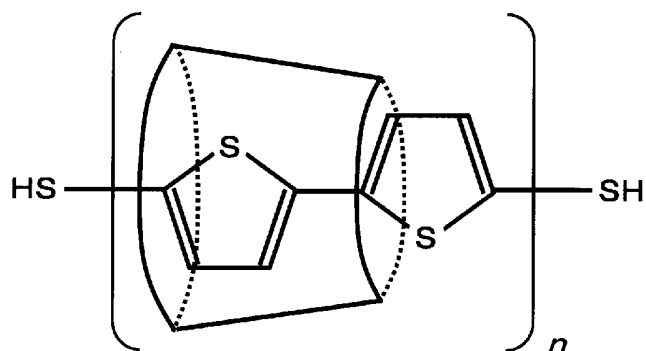


Fig.20B

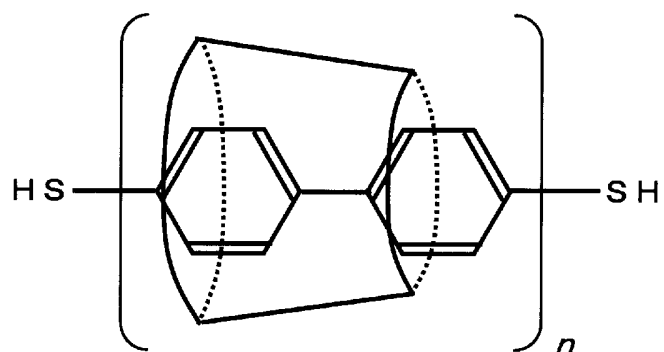
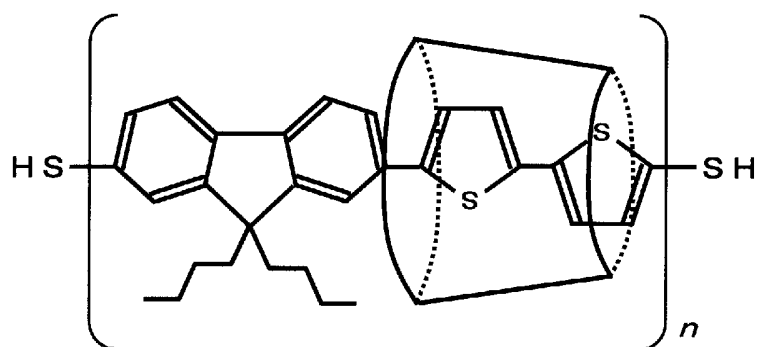


Fig.20C



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/021270

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L51/05(2006.01) , **H01L29/786**(2006.01)

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)

H05L51/05, H01L29/786, H01L21/336

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2006
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2006	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2006

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2003-298067 A (Sharp Corp.), 17 October, 2003 (17.10.03), Full text; all drawings & WO 2003/056640 A1 & EP 1459395 A1 & US 2004/0238814 A1	1-12
Y	JP 2004-273881 A (Hitachi, Ltd.), 30 September, 2004 (30.09.04), Full text; all drawings (Family: none)	1-12
Y	JP 2004-88090 A (Sony Corp.), 18 March, 2004 (18.03.04), Full text; all drawings & WO 2004/006337 A1 & EP 1519418 A1 & US 2005/0056828 A1	1-12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search
10 February, 2006 (10.02.06)

Date of mailing of the international search report
21 February, 2006 (21.02.06)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L51/05(2006.01), H01L29/786(2006.01)

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L51/05, H01L29/786, H01L21/336

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2006年
日本国実用新案登録公報	1996-2006年
日本国登録実用新案公報	1994-2006年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2003-298067 A (シャープ株式会社) 2003. 10. 17, 全文、全図 & WO 2003/056640 A1 & EP 1459395 A1 & US 2004/0238814 A1	1-12
Y	JP 2004-273881 A (株式会社日立製作所) 2004. 09. 30, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-12
Y	JP 2004-88090 A (ソニー株式会社) 2004. 03. 18, 全文、全図 & WO 2004/006337 A1 & EP 1519418 A1 & US 2005/0056828 A1	1-12

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

10. 02. 2006

国際調査報告の発送日

21. 02. 2006

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

綿引 隆

電話番号 03-3581-1101 内線 3462

4M

2934