

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5326100号
(P5326100)

(45) 発行日 平成25年10月30日(2013.10.30)

(24) 登録日 平成25年8月2日(2013.8.2)

(51) Int.Cl.	F I
HO 1 L 29/786 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 1 8 B
HO 1 L 21/336 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 1 7 S
HO 1 L 51/05 (2006.01)	HO 1 L 29/28 1 0 0 A

請求項の数 6 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2006-213890 (P2006-213890)	(73) 特許権者	304021831
(22) 出願日	平成18年8月4日(2006.8.4)		国立大学法人 千葉大学
(65) 公開番号	特開2008-41914 (P2008-41914A)		千葉県千葉市稲毛区弥生町1番33号
(43) 公開日	平成20年2月21日(2008.2.21)	(72) 発明者	徐 明生
審査請求日	平成21年4月27日(2009.4.27)		千葉県千葉市稲毛区弥生町1番33号 国立大学法人千葉大学 ベンチャービジネスラボラトリー内
		(72) 発明者	中村 雅一
			千葉県千葉市稲毛区弥生町1番33号 国立大学法人千葉大学 工学部内
		(72) 発明者	工藤 一浩
			千葉県千葉市稲毛区弥生町1番33号 国立大学法人千葉大学 工学部内
		審査官	綿引 隆
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】有機薄膜トランジスタ及びその製造方法。

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ゲート電極と、
前記ゲート電極を覆い、複数のテーパーを有する凹部が形成されるゲート絶縁膜と、
前記複数のテーパーを有する凹部に、前記テーパーと隙間を設けて配置されるソース電極及びドレイン電極と、
前記テーパーを含む前記ゲート絶縁膜上の前記ソース電極及び前記ドレイン電極の間の領域に配置され、前記ソース電極及び前記ドレイン電極に接続される有機半導体層と、を有する有機薄膜トランジスタ。

【請求項2】

前記ソース電極及び前記ドレイン電極のそれぞれは、前記ゲート絶縁膜を介し前記ゲート電極と重畳して配置されている請求項1記載の有機薄膜トランジスタ。

【請求項3】

前記ソース電極及びゲート電極の高さと前記ゲート絶縁膜の高さがほぼ同じである請求項1記載の有機薄膜トランジスタ。

【請求項4】

基板にゲート電極を形成し、
ゲート絶縁膜を形成し、
前記ゲート絶縁膜にテーパーを有する凹部を形成し、
前記ゲート絶縁膜に形成された前記テーパーを有する凹部にソース電極及びドレイン電極

を、前記テーパーと隙間を設けて形成し、

前記テーパーを含む前記ゲート絶縁膜上に有機半導体層を形成する、有機薄膜トランジスタの製造方法。

【請求項 5】

前記ソース電極及び前記ドレイン電極のそれぞれは、前記ゲート絶縁膜を介し前記ゲート電極と重畳するよう形成される請求項 4 記載の有機薄膜トランジスタの製造方法。

【請求項 6】

前記ソース電極及び前記ドレイン電極を形成した後、前記ソース電極、前記ゲート電極及び前記ゲート絶縁膜を研磨し、平坦化する請求項 4 記載の有機薄膜トランジスタの製造方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体層に有機物を用いる薄膜トランジスタ（以下「有機薄膜トランジスタ」という。）及びその製造方法に関し、特にいわゆるボトムコンタクト型の有機薄膜トランジスタに好適なものに関する。

【背景技術】

【0002】

有機薄膜トランジスタは、従来の半導体層にシリコンを用いる薄膜トランジスタに対し簡単な製造工程、安価、フレキシビリティ等の特性を有しており、現在盛んに研究が行

20

【0003】

一般的に有機薄膜トランジスタは二つの構造に分けることができる。一つはソース電極及びドレイン電極を有機物半導体層を形成した後に形成するトップコンタクト型であり、もう一つは有機物半導体層をソース電極及びドレイン電極を形成した後に形成するボトムコンタクト型である（例えば下記非特許文献 1 参照）。

【0004】

トップコンタクト型の有機薄膜トランジスタは、ボトムコンタクト型の有機薄膜トランジスタよりも電極から半導体層へのキャリア注入障壁や電極/半導体層界面の接触抵抗が小さいという点において優れた特性を有している。しかし、例えば一般的な電極形成において用いられるようなエッチング処理などの溶液処理に弱く、有機半導体層を形成した後にこのような処理を用いることは難しく、複雑な回路構成には対応できないといった課題がある。また、トランジスタの動作電圧を低くするにはソース電極とドレイン電極の間隔で定められるチャンネル長を 1 μm 程度まで短くする必要があるが、エッチング処理の代わりに他の方法、例えばマスク蒸着法を用いた場合であっても数十 μm 程度が限界であり、これ以下に加工することは困難であるといった課題がある。

30

【0005】

そこで、ボトムコンタクト型の有機薄膜トランジスタの検討がより重要となっている。ボトムコンタクト型の有機薄膜トランジスタについての公知の技術としては、例えば下記特許文献 1 乃至 3 に記載の技術がある。

40

【0006】

【非特許文献 1】C. D. Dimitrakopoulos, P. R. L. Malenfant, Adv. Mater., 2002, 14, 99

【特許文献 1】米国特許第 6433359 号明細書

【特許文献 2】米国特許第 6569707 号明細書

【特許文献 3】米国特許第 6864504 号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、上記特許文献 1、2 に記載の技術では、基板や電極の表面処理によって

50

トランジスタ特性が改善されるという点において有用であるが、処理の安定性及び再現性に乏しい、また、電極の接触抵抗を根本的には改善していないといった課題が残る。また、上記特許文献3に記載の技術には、有機半導体層にキャリアが誘起されない部分があるため、有機半導体層における抵抗が増大してトランジスタの電気的特性が低下してしまうという課題がある。また、上記特許文献3に記載の技術には製造工程も複雑であるといった課題もある。

【0008】

そこで、本発明は、上記課題を鑑み、より簡便な構成で、より高性能な有機薄膜トランジスタ及びその製造方法、更にはそれを用いた電子機器を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明者らは、上記課題について鋭意検討を行ったところ、ゲート絶縁膜に凹部を形成し、この凹部にソース電極及びドレイン電極を形成することで有機半導体層における注入障壁、接触抵抗、更には上述した有機半導体層における抵抗を小さくし、オン電流や移動度の大きな有機薄膜トランジスタを簡便に形成することができる点に想到し、本発明を完成させるに至った。

【0010】

即ち、本発明の一手段に係る有機薄膜トランジスタは、ゲート電極と、ゲート電極を覆い、複数の凹部が形成されるゲート絶縁膜と、複数の凹部に配置されるソース電極及びドレイン電極と、ソース電極及び前記ドレイン電極の間の領域に配置され、ソース電極及びドレイン電極に接続される有機半導体層と、を有する。このようにすることで有機半導体層における注入障壁、接触抵抗、更には上述した有機半導体層における抵抗を小さくし、オン電流や移動度の大きな有機薄膜トランジスタを簡便に形成することができる。

【0011】

また、限定されるわけではないが、本手段において、ソース電極及びドレイン電極のそれぞれは、ゲート絶縁膜を介しゲート電極と重畳して配置されていることも望ましい。このようにすることでソース電極とドレイン電極の間のチャンネル領域全体にゲート電極を対応させることができ、有機半導体層におけるキャリアの誘起を確実にすることができる。

【0012】

また、限定されるわけではないが、本手段において、ゲート絶縁膜の凹部はテーパを有していることも望ましい。即ち、テーパ端部によって有機結晶の面内配向を揃えることができ、分子密度の高い面を電極に密に接触させることで、より注入障壁や接触抵抗を低減することができる。

【0013】

また、限定されるわけではないが、本手段において、ソース電極及びドレイン電極の高さとゲート絶縁膜の高さをほぼ同じにすることが望ましい。これにより有機半導体層の平坦性を確保し、注入障壁や接触抵抗を低減させることができる。ここで「ほぼ同じ」とは、完全に同じであることを含むのはもちろんであるが、誤差範囲までも含む概念である。

【0014】

また、本発明の他の一手段に係る有機薄膜トランジスタの製造方法は、基板にゲート電極を形成し、ゲート絶縁膜を形成し、ゲート絶縁膜に凹部を形成し、ゲート絶縁膜に形成された凹部にソース電極及びドレイン電極を形成し、有機半導体層を形成する。

【0015】

また、限定されるわけではないが、本手段において、ソース電極及びドレイン電極のそれぞれを、ゲート絶縁膜を介してゲート電極と重畳するよう形成することも望ましい。このようにすることで、ソース電極とドレイン電極の間のチャンネル領域全体にゲート電極を対応させることができ、有機半導体層におけるキャリアの誘起を確実に行わせることができる。

【0016】

また、限定されるわけではないが、本手段において、ゲート絶縁膜の凹部は、テーパ

10

20

30

40

50

を有するよう形成されることも望ましい。テーパー端部により有機結晶の面内配向を揃えることができ、分子密度の高い面を電極に密に接触させることが可能となり、より注入障壁や接触抵抗を低減することができる。

【0017】

また、限定されるわけではないが、本手段において、ソース電極及びドレイン電極を形成した後、ソース電極、ドレイン電極及びゲート絶縁膜を研磨することも望ましい。このようにすることでゲート絶縁膜、ソース電極及びドレイン電極の高さをほぼ同じにすることで有機半導体層の平坦性を確保することができる。

【発明の効果】

【0018】

以上本発明によって、簡便な構成で、より高性能な有機薄膜トランジスタ及びその製造方法、更にはそれを用いた電子機器を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下、本発明の実施形態について図面を参照しつつ説明する。ただし、本発明は多くの異なる態様で実施することが可能であり、以下に示す実施形態に限定されるものではない。なお、本明細書においては同一又は同様の機能を有する部分には同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。

【0020】

(実施形態1)

図1に、本実施形態に係る有機薄膜トランジスタ(以下「本有機薄膜トランジスタ」)の概略断面図を示す。図1に示されるとおり、本有機薄膜トランジスタ1は、基板2と、この基板2上に形成されるゲート電極3と、基板2及びゲート電極3を覆って形成され、凹部41a、bが形成されるゲート絶縁膜4と、ゲート絶縁膜4の凹部41aに形成されるソース電極5と、ゲート絶縁膜4の凹部41bに形成されるドレイン電極6と、ソース電極5、ドレイン電極6及びこれらの間の領域(チャンネル領域となる。)を覆って形成される有機半導体層7と、ソース電極5、ドレイン電極6及び有機半導体層7を保護する保護膜8と、を有して形成されている。なお、本有機薄膜トランジスタの平面図を図2に示しておく(なお図1は図2のA-A断面図に相当する)。

【0021】

基板2は、ゲート電極3、ゲート絶縁膜4、ソース電極5、ドレイン電極6、有機半導体層7、保護膜8を形成する下地となるものであって、限定されるわけではないが、例えばシリコン、ガラス、プラスチックフィルムを好適に用いることができる。

【0022】

ゲート電極3は、電圧を印加することで有機半導体層にキャリアを誘起させることができるものであって、導電性を有する限りにおいて限定されるわけではないが、例えばAu、Pt、Al、Cu、Cr又はこれらを複数積層させたものを好適に用いることができる。またゲート電極の厚さとしては、限定されるわけではないが、例えば1nm以上10μm以下の範囲内にあることが望ましく、より望ましくは10nm以上1μm以下の範囲内である。

【0023】

ゲート絶縁膜4は、ゲート電極3と、この上に形成される有機半導体層7とを絶縁する機能を有する膜であって、絶縁性を有する限りにおいて限定されるわけではないが、例えばSiO₂、SiN_x、Al₂O₃、Ta₂O₅、Ba_xSr_{1-x}TiO₃(BST)等の無機絶縁物、又はPVA、PVP、PMA等の有機絶縁物を好適に用いることができる。

【0024】

また本実施形態に係るゲート絶縁膜4は、図1で示すように全体として平坦となるよう形成されているが、凹んだ部分、即ち凹部を複数有して構成されており、この部分にソース電極5、ドレイン電極6が配置されている。凹部の深さについては限定されるわけでは

10

20

30

40

50

ないが、ソース電極 5、ドレイン電極 6 の厚さ程度有していることが望ましく、例えば 1 nm 以上 10 μm 以下の範囲内にあることが望ましく、より望ましくは 10 nm 以上 1 μm 以下の範囲内である。なお、図 1 で示すように、本実施形態のゲート絶縁膜 4 における凹部 41a、b の断面にはテーパー 411a、411b が形成されている。

【0025】

ソース電極 5 は、ドレイン電極 6 との間に電界を印加し、有機半導体層 7 にキャリアを注入することができるものであり、ドレイン電極 6 は、ソース電極 5 との間に電界を印加し、有機半導体層 7 からキャリアを流れ込ませることができるものである。ソース電極 5、ドレイン電極 6 は、構成において同じものを採用することができ、導電性を有する限りにおいて限定されるわけではないが、Au、Pt、Al、Cu、Cr 又はこれらを複数積層させたものを好適に用いることができる。なお、ソース電極 5、ドレイン電極 6 の厚さとしては、限定されるわけではないが、例えば 1 nm 以上 10 μm 以下の範囲内にあることが望ましく、より望ましくは 10 nm 以上 1 μm 以下の範囲内である。なお、ソース電極 5 とドレイン電極 6 は、ゲート絶縁膜 4 を介してゲート電極 3 と重畳するように形成されている。このようにすることで、ソース電極とドレイン電極の間のチャンネル領域全体にゲート電極を対応させることができ、有機半導体層におけるキャリアの誘起を確実にに行わせることができる。

【0026】

有機半導体層 7 は、ゲート電極 3 により印加される電圧によりソース電極 5 とドレイン電極 6 との間に流れる電流を調整する機能を有する層であって、限定されるわけではないが、例えばペンタセンや C₆₀、フタロシアニン等の低分子や P3HT、MEH-PPV 等の高分子を好適に用いることができる。なお、本実施形態に係る有機半導体層 7 は、ゲート電極 5、ドレイン電極 6、更にはゲート絶縁膜 4 上のソース電極 5 とドレイン電極 6 の間の領域を覆うように形成されている。

【0027】

保護膜 8 は、ソース電極 5、ドレイン電極 6 及び有機半導体層 7 を保護する機能を有する膜であって、限定されるわけではないが、例えばパリレンを好適に用いることができる。なお、この保護膜 8 の厚さは、ソース電極 5、ドレイン電極 6 及び有機半導体層 7 保護できる限りにおいて限定されない。また、場合によって保護膜 8 は省略可能である。

【0028】

以上の構成により、本有機薄膜トランジスタは、キャリア注入障壁と接触抵抗を低減させることによって高いオン電流と高い電界効果キャリア移動度を達成することができる。より具体的に説明すると、本実施形態に係る有機薄膜トランジスタは、ゲート絶縁膜に凹部を複数設け、この凹部にソース電極 5、ドレイン電極 6 を配置することで有機半導体層を厚くした際にソース/ドレイン電極領域とゲート絶縁層領域を橋渡しする連続的な結晶粒ないしは結晶ドメインを数多く生じせしめることで、不連続な結晶粒ないしは結晶ドメインのみしか存在しない場合と比較して、電極上面からの有効なキャリア注入とそのチャンネル部への輸送を促進し、接触抵抗を低減することで高いオン電流及び高い電界効果キャリア移動度を達成することができる。また、その機構について確定的に述べるわけではないが、本実施形態に係るゲート絶縁膜に形成される凹部の側壁にテーパーを形成することにより、ゲート絶縁膜 4 の平坦面との間で折れ曲がり線を生じさせ、面の不連続部に結晶の低自由エネルギー面が沿う傾向を有効に利用して折れ曲がり線から両垂直方向に特定の方が面内配向した有機半導体結晶粒を選択的に成長させ、よって生じる低自由エネルギー面と電極との広範囲な接触によってキャリア注入障壁と接触抵抗を低減することで高いオン電流及び高い電界効果キャリア移動度を達成することができる。

【0029】

次に、本有機薄膜トランジスタの製造方法について図 3 を用いて説明する。本実施形態に係る有機薄膜トランジスタの製造方法は、基板 2 上にゲート電極 3 を形成し (図 3 (A))、ゲート絶縁膜 4 を形成し (図 3 (B))、ゲート絶縁膜に凹部を形成し (図 3 (C))、ゲート絶縁膜に形成された前記凹部にソース電極及びゲート電極を形成し (図 3 (

10

20

30

40

50

D))、有機半導体層を形成し(図3(E))、保護膜を形成する(図3(F))。

【0030】

ゲート電極3の形成は、ゲート電極3を形成できる限り限定されるわけではないが、例えば真空蒸着法、スパッタリング法を好適に用いることができる。望ましい配線パターンを得るためには、その後、さらにフォトリソグラフィ法及びエッチング法を用いることが好適である。

【0031】

ゲート絶縁膜4の形成も、ゲート絶縁膜4を形成できる限り限定されず、例えばゲート絶縁膜4が無機絶縁物である場合はスパッタリング法、有機絶縁物である場合はスピコート法を好適に用いることができる。なお、ゲート絶縁膜4を形成した後、ゲート絶縁膜4を平坦化するための平坦化処理を行うことも望ましい。この平坦化処理としては限定されるわけではないが、例えば無機絶縁物に対しては化学的機械研磨法、有機絶縁物にはモールドイング法が好適である。無機絶縁物に対して平坦化処理を行いゲート絶縁膜4を形成する場合の概念図を図4に示しておく。

10

【0032】

ゲート絶縁膜4に凹部を形成する方法としては、限定されるわけではないが、例えばゲート絶縁膜4が無機絶縁物の場合には化学エッチング法、反応性イオンエッチング法を、有機絶縁物の場合は精密な鋳型を用いて半溶融状態の絶縁膜に型押しを行うことで凹部形成と同時にテーパを形成させることができるモールドイング法を好適に用いることができる。なお、無機絶縁物に対する化学エッチングによる処理は、等方的なエッチング作用を利用して自発的になだらかなテーパを形成することができるためより望ましい。エッチング処理については周知の方法を採用することができ、限定されるわけではないが図5に本方法におけるエッチング処理工程を示し説明する。

20

【0033】

図5におけるエッチング処理は、例えば図4で示す方法を用いて平坦化されたゲート絶縁膜4(図5中の(B))にフォトレジスト42を塗布し(図6(B'))、フォトレジストに所望のパターンが形成されたマスクを用いて光を照射し、一部のフォトレジストのみを残して後は除去する(図5(B''))。そして例えば緩衝フッ酸を用いてエッチング処理を施して凹部とテーパを同時に形成する(図5(C))。なお、フォトレジストはソース電極及びドレイン電極の形成においても用いられる(図5(C'))。

30

【0034】

ソース電極5、ドレイン電極6を形成する方法としては、これら電極を形成することができる限りにおいて限定されるわけではないが、例えば真空蒸着法、スパッタリング法を好適に用いることができる。なお、この凹部にうまくソース電極、ドレイン電極を形成する方法としては、限定されるわけではないが、ゲート絶縁膜に凹部を形成する方法においてエッチングを用い、その際に用いたフォトレジストをそのまま使用することも工程数を削減するという点、更にはテーパと電極との間に隙間を形成し、この隙間を利用してトランジスタ特性を向上させることができる点で望ましい(図5(C'))。なお、このフォトレジストは電極形成後除去する(図5(D))。

【0035】

なお、ソース電極5、ドレイン電極6を形成した後にゲート絶縁膜との平坦性を確実にするため平坦化処理を行っておくことが望ましい。平坦化処理としては、限定されるわけではないが、例えば化学的機械研磨法を好適に用いることができる。

40

【0036】

有機半導体層7を形成する方法としては、限定されるわけではないが、例えば真空蒸着法、分子線蒸着法、インクジェット法、スピコート法を用いることができる。

【0037】

保護膜8を形成する方法としても、限定されるわけではないが、例えば真空蒸着法、分子線蒸着法、インクジェット法、スピコート法を用いることができる。

【0038】

50

以上、本実施形態に係る有機薄膜トランジスタを得ることができる。

【0039】

(実施形態2)

本実施形態に係る有機薄膜トランジスタ1は、有機半導体層の厚さが異なる以外は実施形態1と同様である。この断面外略図を図6に示し、異なる部分についてのみ説明する。

【0040】

本実施形態に係る有機半導体層7は、ソース電極5及びドレイン電極6よりも薄くしているところが実施形態1と異なる。このようにすることで、ソース電極5及びドレイン電極6の上に存在する有機半導体層7と、ソース電極5とドレイン電極6の間の領域に存在する有機半導体層7とが断絶されることとなり、ソース電極5及びドレイン電極6上における有機半導体層7を機能させることができないが、ソース電極5およびドレイン電極6は、それぞれの側面51、61で有機半導体層7と接続できているため、実施形態1で述べたキャリア注入障壁と接触抵抗の低減を図ることができるという効果がある。

10

【0041】

以上本実施形態によっても、キャリア注入障壁と接触抵抗を低減させることによって高いオン電流と高い電界効果キャリア移動度を達成することができる。

【0042】

(実施形態3)

本実施形態に係る有機薄膜トランジスタ1は、ソース電極5、ドレイン電極6の形状が異なる以外はほぼ実施形態1と同様である。この断面外略図を図7に示し、異なる部分についてのみ説明する。

20

【0043】

本実施形態に係るゲート絶縁膜の凹部41全体にソース電極5、ドレイン電極6が充填されており、上記の実施形態において存在するソース電極5、ドレイン電極6の側面とテーパーとの間に有機半導体層7が充填される隙間がない。このようにすることで、実施形態1で利用するテーパーの効果を利用することはできないが、ソース電極5及びドレイン電極6を凹部を十分充填させることができ、キャリア注入障壁と接触抵抗を低減させることによって高いオン電流と高い電界効果キャリア移動度を達成することができる。なお、本実施形態における電極の形成としては、例えば実施形態1において電極形成の際にまで残したフォトリソを電極形成前に除去しておき、ゲート絶縁膜上に電極層を形成し、その後研磨する等して平坦化させることで実現できる。

30

【0044】

(実施形態4)

本実施形態に係る有機薄膜トランジスタ1は、ゲート絶縁膜4の凹部41a、bの断面形状が異なる以外はほぼ実施形態1と同様である。この断面外略図を図8に示し、異なる部分についてのみ説明する。

【0045】

本実施形態に係るゲート絶縁膜4の凹部41の断面にはテーパーが形成されておらず、凹部41の側壁が基板面に対してほぼ垂直方向にあるところが特徴的である。このようにすることで実施形態3と同様の効果を達成することができる。なお、上記テーパーを形成しないで凹部を形成する方法としては、限定されるわけではないが、例えば反応性イオンエッチング法を好適に用いることができる。

40

【実施例】

【0046】

以下、上記実施形態に係る有機薄膜トランジスタについて、実際に作成を行い、効果を確認した。以下、作成条件、結果とともに説明する。

【0047】

(実施例1)

まず、リングドープされたn型のシリコンウェハーをゲート電極を兼ねた基板として採用し、熱酸化法を用いてSiO₂からなるゲート絶縁膜を300nm形成し、フォトリソ

50

グラフィ法を用いてソースおよびドレイン電極領域をパターニングした後緩衝フッ酸を用いて深さ33nmの凹部を形成し、DCスパッタリング法を用いてCr(下層)、Pt(上層)からなるソース電極及びドレイン電極をそれぞれ33nm(Pt:31nm、Cr:2nm)形成した。その上に分子線蒸着法を用いてペンタセンからなる有機半導体層を66nm形成した。なお、有機半導体層のチャンネル領域の幅/長さは5000 μ m/22.9 μ mとした。

【0048】

この作成した有機薄膜トランジスタのソース電極端付近の表面形状を原子間力顕微鏡により撮影した。この結果を図9に示す。この結果、一部の結晶粒が電極(左側)とチャンネル部(右側)を跨いで成長していることが確認できた。

10

【0049】

またこの得られた有機薄膜トランジスタに対し、ソース接地回路における出力特性を測定した。この結果を図10に示す。この結果、電界効果移動度は飽和領域(ドレイン電圧-80V)において0.48cm²/Vs、オン電流は-2.9mA、ゲート閾電圧は-3.5Vであり、高い電界効果移動度、高いオン電流を得ることができていることを確認した。

【0050】

(比較例1)

一方、上記実施例1とほぼ同様であるが、凹部を形成せず平坦なゲート絶縁膜上にそのままソース電極、ドレイン電極を配置した有機薄膜トランジスタについても作成を行った。この構造の概略を図11に示しておく。なお有機半導体層の厚さは99nmとした。

20

【0051】

また、この比較用トランジスタソース電極端付近の表面形状を原子間力顕微鏡により撮影した写真を図12に示す。この結果、すべての結晶粒が電極(左側)とチャンネル部(右側)の境界で不連続となっていることが確認できた。またこのトランジスタに対し、同様の出力特性を測定した。この結果を図13に示す。この結果、電界効果移動度は飽和領域(ドレイン電圧-80V)において0.30cm²/Vs、オン電流は-1.6mA、ゲート閾電圧は-5.2Vであった。この結果により実施例1に係る有機薄膜トランジスタの方が電界効果移動度とオン電流が大きく、ゲート閾電圧も小さく、より高性能であることが確認できた。

30

【0052】

また、図10および図12の低ドレイン電圧領域(グラフ中、横軸0~10Vの範囲)での比較において、実施例1のもの(図10)は直線的に立ち上がっているのに対して、比較例のもの(図12)は非線形な立ち上がりが見られる。後者は、ソース電極と半導体層との間にキャリアの注入障壁がある場合に見られる典型的な形状であることから、実施例1に係る有機薄膜トランジスタの方が、電極形状の工夫により注入障壁が小さくなっていることが強く示唆される。

【0053】

また、実施例1と比較例1のトランジスタにおいて、ソース/ドレイン電極に隣接するペンタセン結晶粒の<010>方向と電極端との成す角の頻度分布を調べたところ、図14に示されるように、電極を平坦化しテーパ形状を設けた実施例1のトランジスタでは90°方向(電極と垂直な方向)に明瞭な配向が認められるのに対して、従来の構造である比較例(図15参照)では、配向傾向は認められなかった。ペンタセンの場合、<010>方向に垂直な面が最も規則的かつ分子密度の高い面の一つである。このことから、テーパ形状によって配向が制御され、電極との接触面がより理想的になったことが強く示唆される。

40

【0054】

(実施例2)

本実施例は、有機半導体層の厚さを4nmにした以外は実施例1と同様に行った。この作成した有機薄膜トランジスタを上面から見た場合の原子間顕微鏡により撮影した写真を

50

図 16 に示す。

【 0 0 5 5 】

またこの得られた有機薄膜トランジスタに対し、ソース接地回路における出力特性を測定した。この結果、電界効果移動度は飽和領域（ドレイン電圧 - 80 V）において $0.16 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、オン電流は - 0.51 mA、ゲート閾電圧は 11.0 V であり、高い電界効果移動度、高いオン電流を得ることができていることを確認した。

【 0 0 5 6 】

（比較例 2）

本比較例は、ほぼ実施例 2 と同様であるが、比較例 1 と同様、凹部を形成せず平坦なゲート絶縁膜上にそのままソース電極、ドレイン電極を配置した有機薄膜トランジスタにつ
10
いても作成を行った。なお有機半導体層の厚さは実施例 2 と同じ 4 nm とした。なお、この作成した有機薄膜トランジスタを上面から見た場合の原子間顕微鏡により撮影した写真を図 17 に示す。

【 0 0 5 7 】

またこのトランジスタに対し、同様の出力特性を測定した。この結果、電界効果移動度は飽和領域（ドレイン電圧 - 80 V）において $0.013 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、オン電流は - 0.01 mA、ゲート閾電圧は - 12.5 V であった。この結果により実施例 2 に係る有機薄膜トランジスタの方が電界効果移動度とオン電流が極めて大きく、ゲート閾電圧も小さく、より高性能であることが確認できた。

【 0 0 5 8 】

（実施例 3）

本実施例は、有機半導体層の厚さを 7 nm にした以外は実施例 1 と同様に行った。また、この得られた有機薄膜トランジスタに対し、ソース接地回路における出力特性を測定した。この結果、電界効果移動度は飽和領域（ドレイン電圧 - 80 V）において $0.32 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、オン電流は - 0.96 mA、ゲート閾電圧は 13.0 V であり、高い電界効果移動度、高いオン電流を得ることができていることを確認した。

【 0 0 5 9 】

（比較例 3）

本比較例は、ほぼ実施例 3 と同様であるが、比較例 1 と同様、凹部を形成せず平坦なゲート絶縁膜上にそのままソース電極、ドレイン電極を配置した有機薄膜トランジスタにつ
30
いても作成を行った。なお有機半導体層の厚さは実施例 3 と同じ 7 nm とした。

【 0 0 6 0 】

またこのトランジスタに対し、同様の出力特性を測定した。この結果、電界効果移動度は飽和領域（ドレイン電圧 - 80 V）において $0.09 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、オン電流は - 0.14 mA、ゲート閾電圧は - 15.5 V であった。この結果により実施例 3 に係る有機薄膜トランジスタの方が電界効果移動度とオン電流が大きく、ゲート閾電圧も小さく、より高性能であることが確認できた。

【 0 0 6 1 】

以上の実施例 1 から 3 より、有機層の膜厚が 100 nm 近いものから数 nm と薄いものに至るまで、本発明による電界効果移動度等の向上が見込まれることが明らかになった。
40
また、改善の比（絶縁膜に凹部を形成したトランジスタの電界効果移動度 / 絶縁膜が平坦なトランジスタの電界効果移動度）は膜厚が薄いほど大きいこと、ただし、電界効果移動度の絶対値は膜厚が厚いほど大きいことが確認された。

【 0 0 6 2 】

以上の実施例におけるトランジスタ特性の改善は、有機半導体層の厚みが電極の膜厚よりも薄いときには専らテーパの形成によって生じた結晶配向による効果が期待され、有機半導体層の膜厚が厚いときには、それに加えて電極領域とゲート絶縁層領域を橋渡しする連続的な結晶粒の生成による効果が期待されるものと考えられる。機構の詳細は未確定であるが、前者の改善効果は専ら効果注入障壁の低減によるもの、後者の改善効果は専ら線形な接触抵抗の低減によるものであると推測されているが、必ずしもそれに限定される
50

ものではない。

【図面の簡単な説明】

【0063】

【図1】実施形態1に係る有機薄膜トランジスタの概略断面図である。

【図2】実施形態1に係る有機薄膜トランジスタを上面から見た場合の概略図である。

【図3】実施形態1に係る有機薄膜トランジスタの製造工程を説明するための図である。

【図4】実施形態1に係る有機薄膜トランジスタの製造工程の一部の詳細を説明するための図である。

【図5】実施形態1に係る有機薄膜トランジスタの製造工程の一部の詳細を説明するための図である。

10

【図6】実施形態2に係る有機薄膜トランジスタの概略断面図である。

【図7】実施形態3に係る有機薄膜トランジスタの概略断面図である。

【図8】実施形態4に係る有機薄膜トランジスタの概略断面図である。

【図9】実施例1で作成した有機薄膜トランジスタのソース電極端付近の表面形状の原子間力顕微鏡による写真（図面代用）。

【図10】実施例1で作成した有機薄膜トランジスタに対し、ソース接地回路における出力特性を測定した結果を示す図。

【図11】比較例1で作成した有機薄膜トランジスタの概略断面図である。

【図12】比較例1で作成した有機薄膜トランジスタのソース電極端付近の表面形状の原子間力顕微鏡による写真（図面代用）。

20

【図13】比較例1で作成した有機薄膜トランジスタに対し、ソース接地回路における出力特性を測定した結果を示す図。

【図14】実施例1におけるペンタセン結晶粒の<010>方向と電極端との成す角の頻度分布を調べた結果を示す図。

【図15】比較例1におけるペンタセン結晶粒の<010>方向と電極端との成す角の頻度分布を調べた結果を示す図。

【図16】実施例2で作成した有機薄膜トランジスタのソース電極端付近の表面形状の原子間力顕微鏡による写真（図面代用）。

【図17】比較例2で作成した有機薄膜トランジスタのソース電極端付近の表面形状の原子間力顕微鏡による写真（図面代用）。

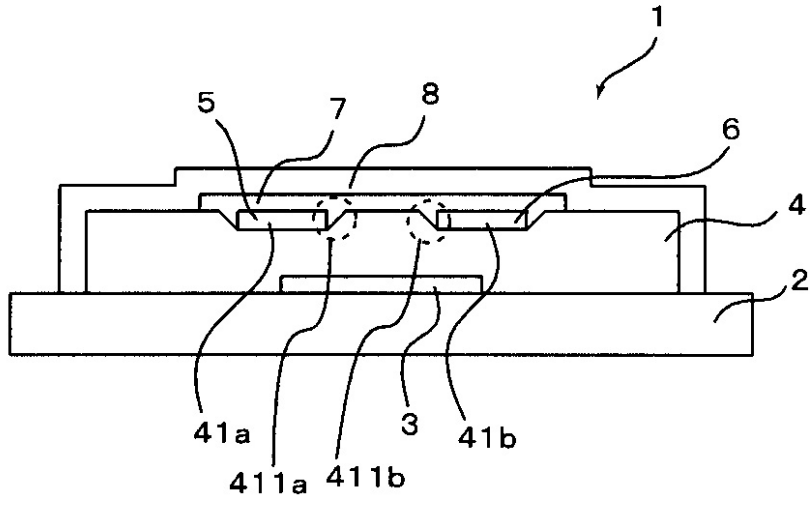
30

【符号の説明】

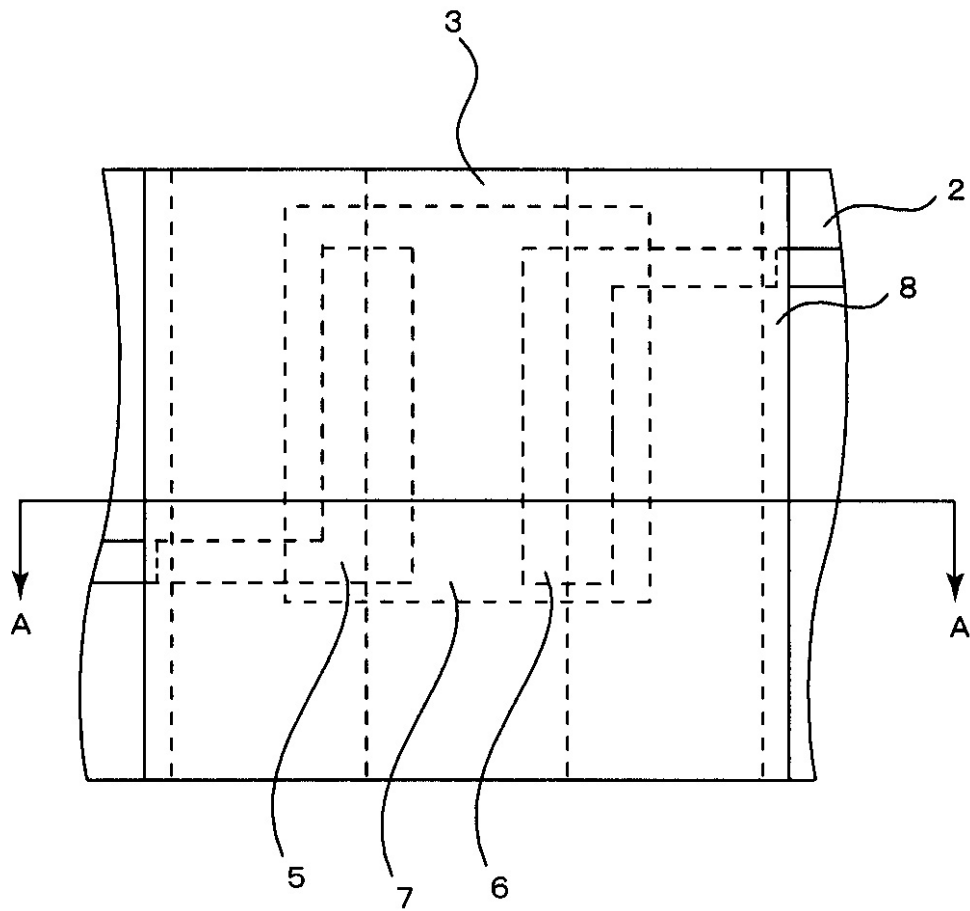
【0064】

1...有機薄膜トランジスタ、2...基板、3...ゲート電極、4...ゲート絶縁膜、5...ソース電極、6...ドレイン電極、7...有機半導体層、8...保護膜、41a、b...凹部、411a、411b...テーパー、51...（ソース電極）の側面、52...（ドレイン電極の）側面

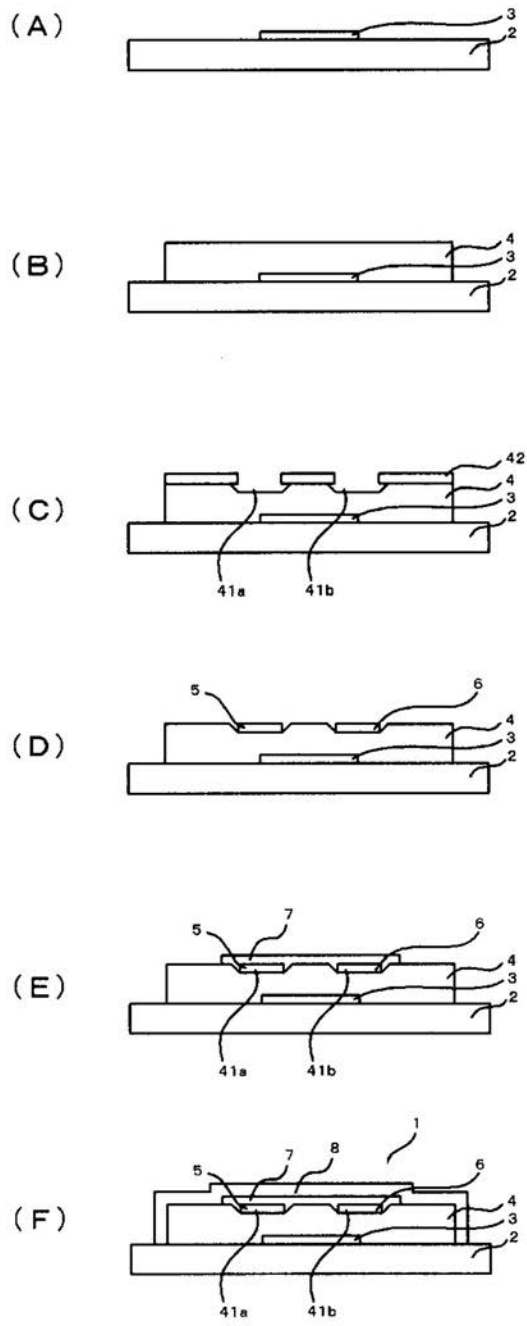
【図1】



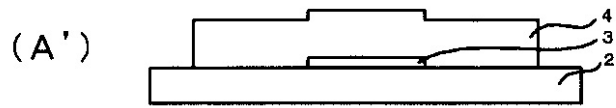
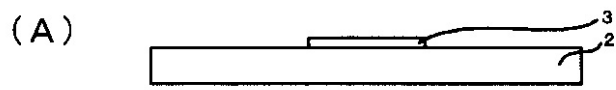
【図2】



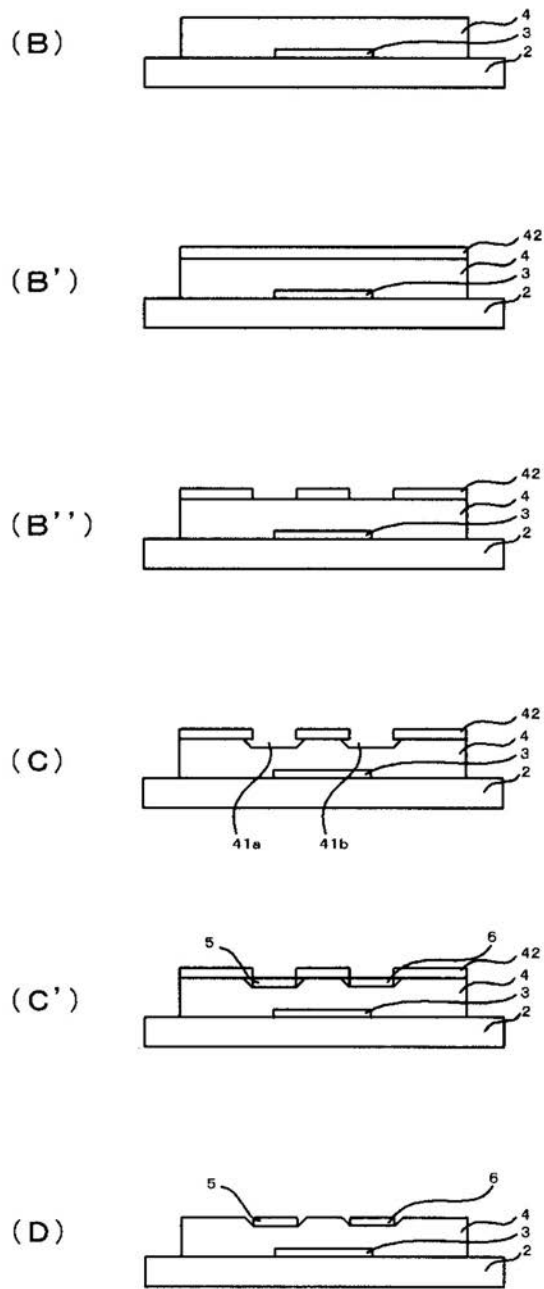
【図3】



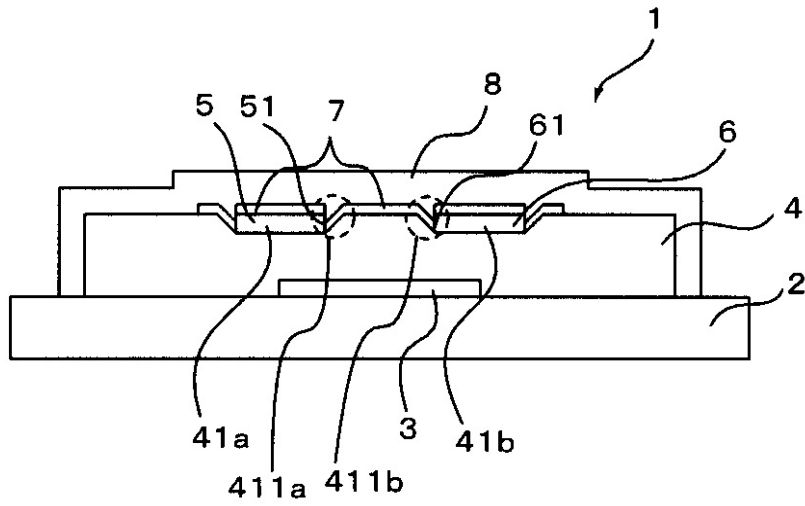
【 図 4 】



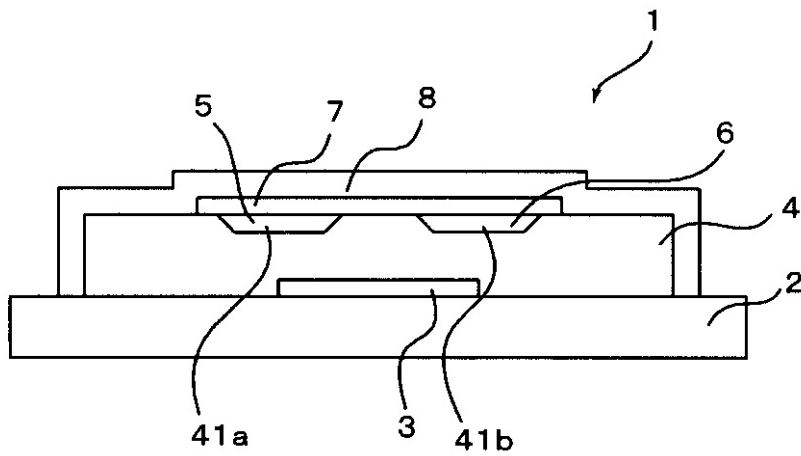
【図5】



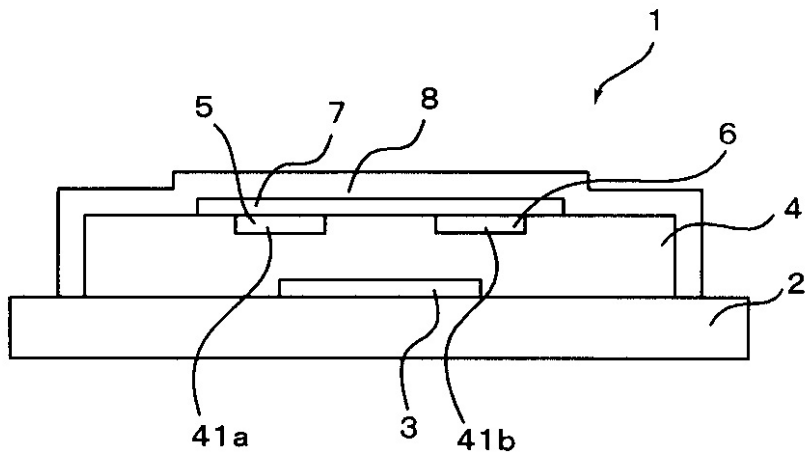
【図6】



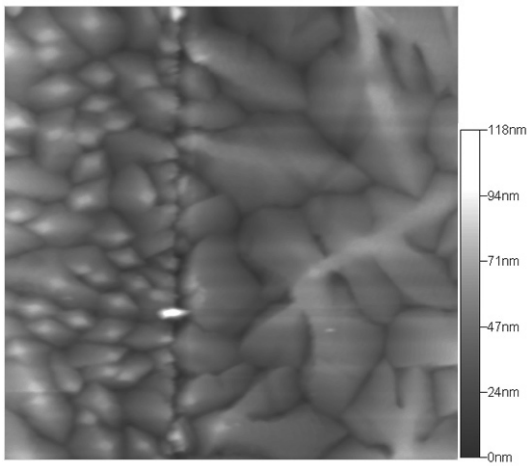
【図7】



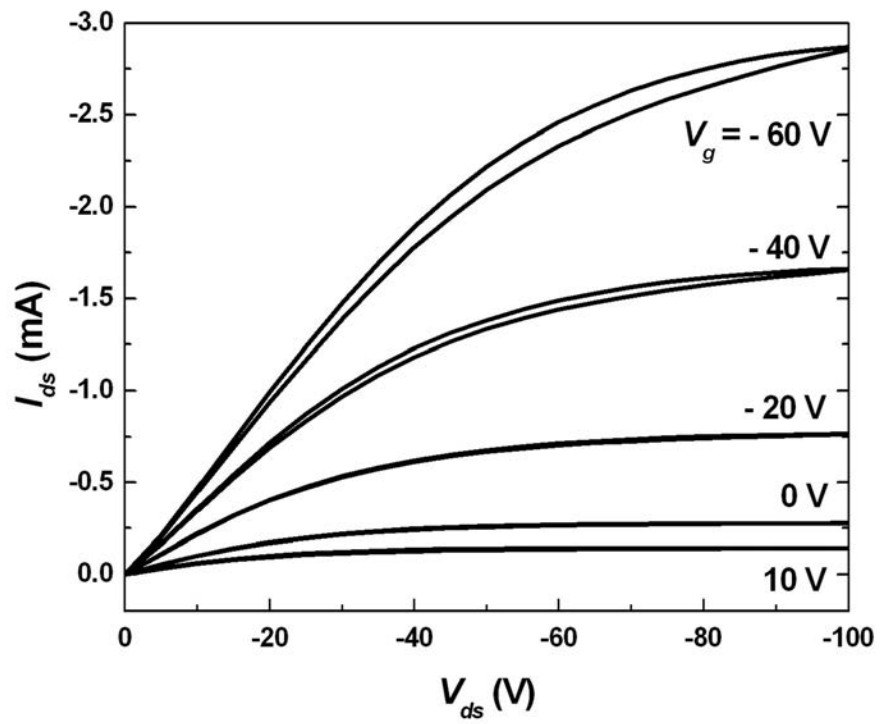
【図8】



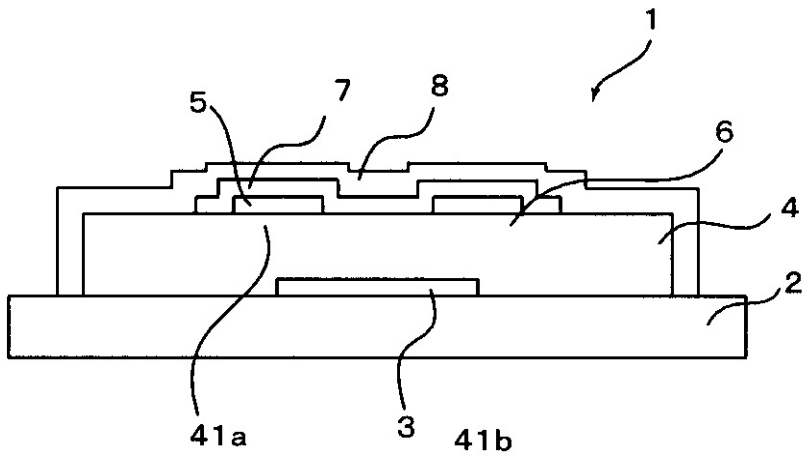
【 図 9 】



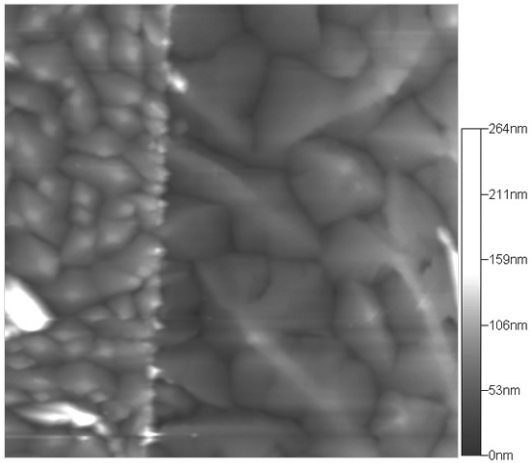
【 図 10 】



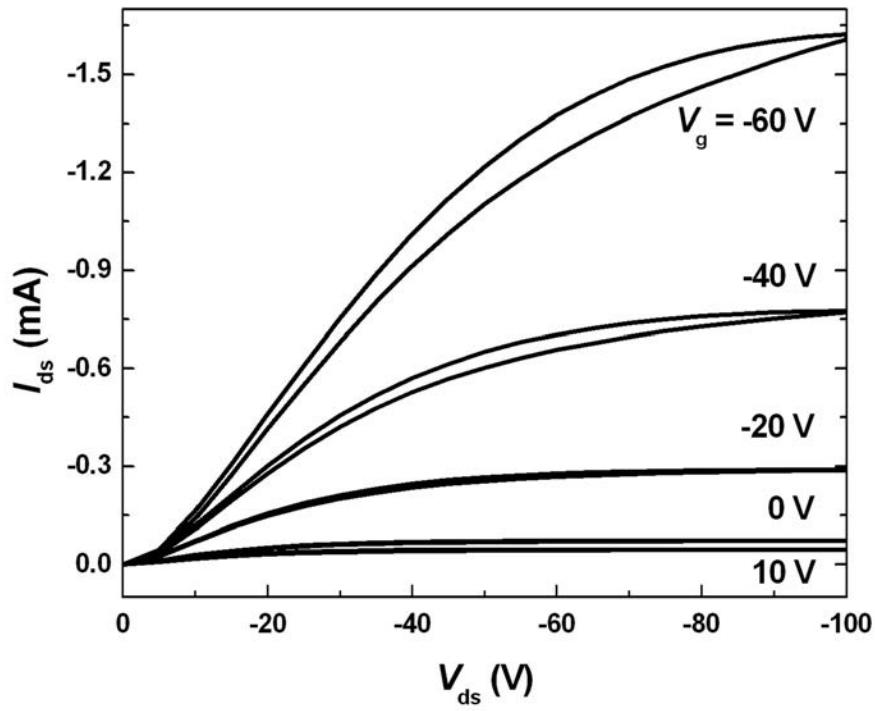
【図 1 1】



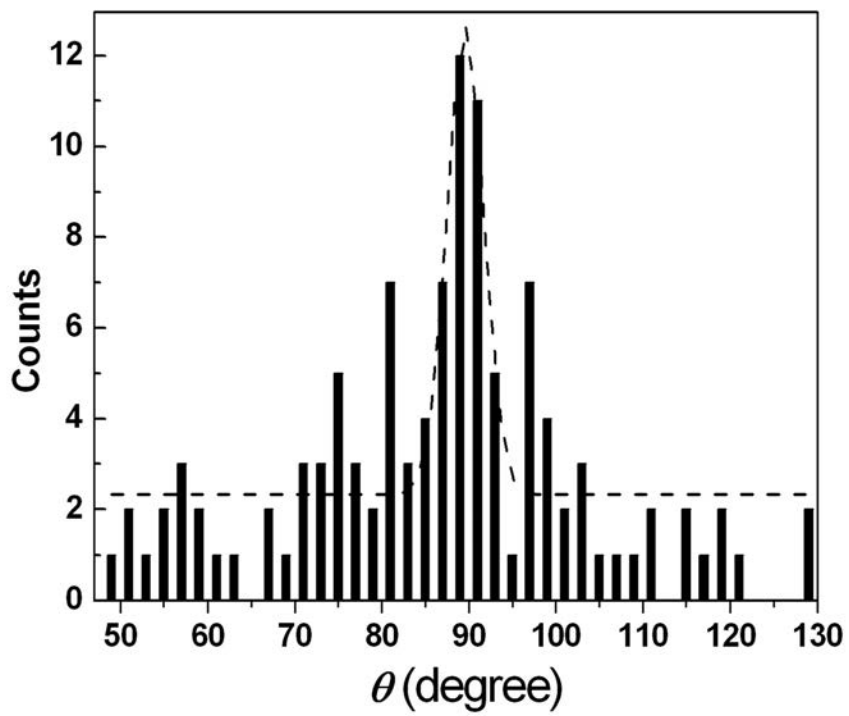
【図 1 2】



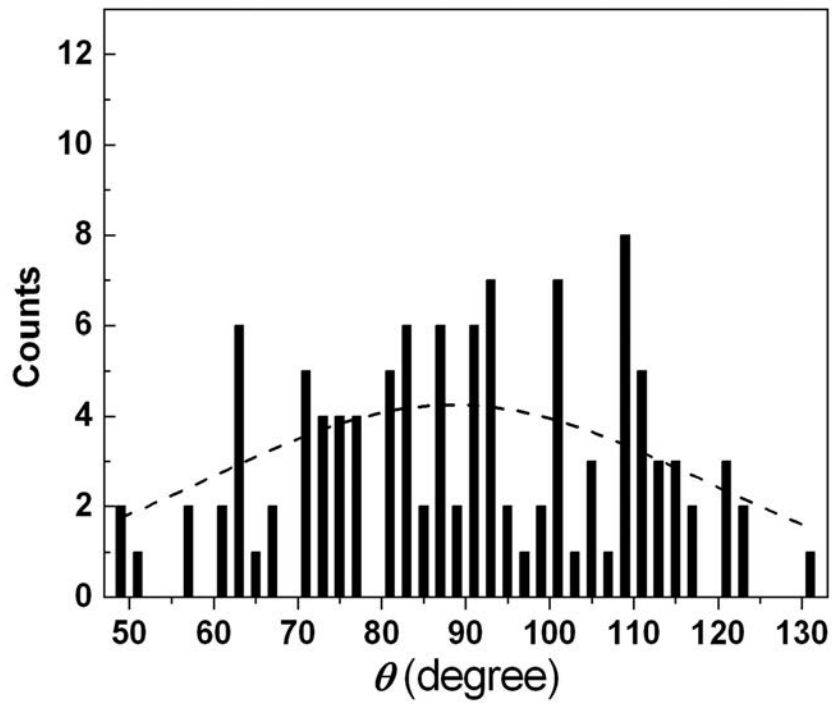
【 図 1 3 】



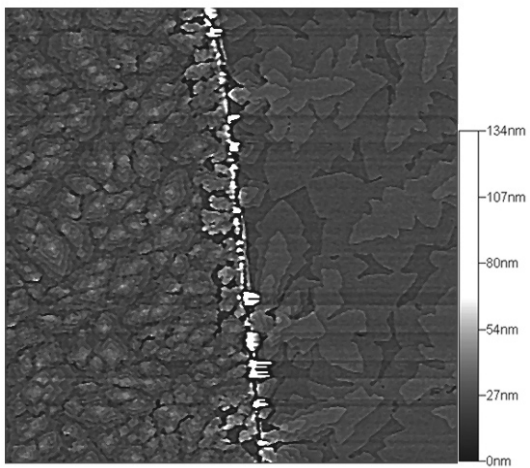
【 図 1 4 】



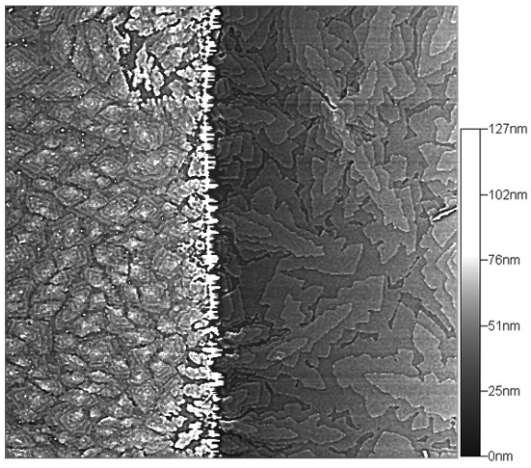
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【図 17】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2006-041219(JP,A)
特開平04-134827(JP,A)
特開2005-013984(JP,A)
特開2006-163418(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/336
H01L 29/786
H01L 51/05