

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5951191号  
(P5951191)

(45) 発行日 平成28年7月13日(2016.7.13)

(24) 登録日 平成28年6月17日(2016.6.17)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 29/786 (2006.01)

H O 1 L 29/78 6 1 8 B

H O 1 L 29/78 6 1 8 G

請求項の数 2 (全 42 頁)

(21) 出願番号 特願2011-110963 (P2011-110963)  
 (22) 出願日 平成23年5月18日(2011.5.18)  
 (65) 公開番号 特開2012-4554 (P2012-4554A)  
 (43) 公開日 平成24年1月5日(2012.1.5)  
 審査請求日 平成26年4月22日(2014.4.22)  
 (31) 優先権主張番号 特願2010-115940 (P2010-115940)  
 (32) 優先日 平成22年5月20日(2010.5.20)  
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(73) 特許権者 000153878  
 株式会社半導体エネルギー研究所  
 神奈川県厚木市長谷398番地  
 (72) 発明者 山崎 舜平  
 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社  
 半導体エネルギー研究所内  
 (72) 発明者 須沢 英臣  
 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社  
 半導体エネルギー研究所内  
 (72) 発明者 笹川 慎也  
 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社  
 半導体エネルギー研究所内

審査官 岩本 勉

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置の作製方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

絶縁体上に、ゲート電極として機能する第1の導電層を形成する工程と、  
 前記第1の導電層を覆う第1の絶縁層を形成する工程と、  
 前記第1の導電層と重畳するように、前記第1の絶縁層上に酸化物半導体層を形成する工程と、  
 前記酸化物半導体層と電氣的に接続される、ソース電極およびドレイン電極を含む第2の導電層を形成する工程と、  
 前記酸化物半導体層および前記第2の導電層を覆う第2の絶縁層を形成する工程と、  
 前記酸化物半導体層に、酸素、ハロゲンから選ばれた一、またはそれらの内の2元素以上を含む陽イオンを添加する工程と、  
 前記第1の絶縁層または前記第2の絶縁層に、酸素、ハロゲンから選ばれた一、またはそれらの内の2元素以上を含む陽イオンを添加する工程と、  
 を有することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項2】

絶縁体上に酸化物半導体層を形成する工程と、  
 前記酸化物半導体層と電氣的に接続される、ソース電極およびドレイン電極を含む第1の導電層を形成する工程と、  
 前記酸化物半導体層および前記第1の導電層を覆う絶縁層を形成する工程と、  
 前記絶縁層の上に、前記酸化物半導体層と重畳するように、ゲート電極として機能する

10

20

第2の導電層を形成する工程と、

前記酸化物半導体層に、酸素、ハロゲンから選ばれた一、またはそれらの内の2元素以上を含む陽イオンを添加する工程と、

前記絶縁体または前記絶縁層に、酸素、ハロゲンから選ばれた一、またはそれらの内の2元素以上を含む陽イオンを添加する工程と、

を有することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、酸化物半導体を用いた半導体素子を有する半導体装置の作製方法に係り、開示される発明の一形態は、初期特性が良好で長期的な特性変動の小さい酸化物半導体素子を有する半導体装置の作製方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

金属酸化物は多様に存在し、さまざまな用途に用いられている。酸化インジウムはよく知られた材料であり、液晶ディスプレイなどで必要とされる透明電極材料として用いられている。

【0003】

金属酸化物の中には半導体特性を示すものがある。半導体特性を示す金属酸化物としては、例えば、酸化タングステン、酸化錫、酸化インジウム、酸化亜鉛などがあり、このような半導体特性を示す金属酸化物をチャネル形成領域とする薄膜トランジスタが既に知られている（例えば、特許文献1乃至特許文献4、非特許文献1等参照）。

20

【0004】

ところで、金属酸化物は一元系酸化物のみでなく多元系酸化物も知られている。例えば、ホモロガス相を有する  $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_m$  ( $m$ : 自然数) は、In、Ga及びZnを有する多元系酸化物半導体として知られている（例えば、非特許文献2乃至非特許文献4等参照）。

【0005】

そして、上記のようなIn-Ga-Zn-O系酸化物で構成される酸化物半導体を薄膜トランジスタのチャネル層として適用可能であることが確認されている（例えば、特許文献5、非特許文献5および非特許文献6等参照）。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開昭60-198861号公報

【特許文献2】特開平8-264794号公報

【特許文献3】特表平11-505377号公報

【特許文献4】特開2000-150900号公報

【特許文献5】特開2004-103957号公報

【非特許文献】

40

【0007】

【非特許文献1】M. W. Prins, K. O. Grosse-Holz, G. Muller, J. F. M. Cillessen, J. B. Giesbers, R. P. Weening, and R. M. Wolf, 「A ferroelectric transparent thin-film transistor」、Appl. Phys. Lett., 17 June 1996, Vol. 68 p. 3650-3652

【非特許文献2】M. Nakamura, N. Kimizuka, and T. Mohri, 「The Phase Relations in the  $\text{In}_2\text{O}_3$ - $\text{Ga}_2\text{ZnO}_4$ - $\text{ZnO}$  System at 1350 °C」、J. Solid S

50

tate Chem., 1991, Vol. 93, p. 298 - 315

【非特許文献3】N. Kimizuka, M. Isobe, and M. Nakamura, 「Syntheses and Single-Crystal Data of Homologous Compounds,  $\text{In}_2\text{O}_3(\text{ZnO})_m$  ( $m = 3, 4$ , and  $5$ ),  $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_3$ , and  $\text{Ga}_2\text{O}_3(\text{ZnO})_m$  ( $m = 7, 8, 9$ , and  $16$ ) in the  $\text{In}_2\text{O}_3$ - $\text{ZnGa}_2\text{O}_4$ - $\text{ZnO}$  System», J. Solid State Chem., 1995, Vol. 116, p. 170 - 178

【非特許文献4】中村真佐樹、君塚昇、毛利尚彦、磯部光正、「ホモロガス相、 $\text{InFeO}_3(\text{ZnO})_m$  ( $m$ : 自然数) とその同型化合物の合成および結晶構造」、固体物理、1993年、Vol. 28、No. 5、p. 317 - 327

【非特許文献5】K. Nomura, H. Ohta, K. Ueda, T. Kamiya, M. Hirano, and H. Hosono, 「Thin-film transistor fabricated in single-crystalline transparent oxide semiconductor», SCIENCE, 2003, Vol. 300, p. 1269 - 1272

【非特許文献6】K. Nomura, H. Ohta, A. Takagi, T. Kamiya, M. Hirano, and H. Hosono, 「Room-temperature fabrication of transparent flexible thin-film transistors using amorphous oxide semiconductors», NATURE, 2004, Vol. 432 p. 488 - 492

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0008】

このように、酸化物半導体に関する研究は精力的に行われているが、その組成の複雑さなどから、酸化物半導体材料自体の性質は未だ解明に至っていない。このような事情と相まって、酸化物半導体を用いた半導体素子に関して、良好な特性が得られる作製条件は見出されていないというのが現状である。特に、ノーマリーオンになりやすい、特性の変動が大きいなどの欠点が顕著に見られる。ノーマリーオンになりやすい原因は酸化物半導体中にキャリアが多く存在するためである。キャリアの生成の原因となるものとして酸化物半導体中の水素や酸素欠損の存在などがある。

#### 【0009】

上述の問題点に鑑み、本明細書等（少なくとも明細書、特許請求の範囲、図面を含む）において開示する発明の一形態は、長期的な特性変動の少ない酸化物半導体素子を有する半導体装置を提供することを目的の一とする。また、ノーマリーオフの酸化物半導体素子を得ることを目的の一とする。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0010】

本発明の一形態は、酸化物半導体層に対して、酸素、ハロゲンから選ばれた一、またはそれらの内の2元素以上を含む陽イオンの添加を行い、半導体素子を形成するものである。それに加えて、当該陽イオンの添加は、当該酸化物半導体層に接する絶縁層または絶縁体に対して行ってもよい。

#### 【0011】

例えば、本明細書において開示する発明の一形態は、基板上に、ゲート電極として機能する第1の導電層を形成する工程と、第1の導電層を覆うように第1の絶縁層を形成する工程と、第1の導電層と一部が重畳するように、第1の絶縁層上に酸化物半導体層を形成する工程と、酸化物半導体層と電氣的に接続されるように第2の導電層を形成する工程と、酸化物半導体層および第2の導電層を覆う第2の絶縁層を形成する工程と、酸化物半導体層に、酸素、ハロゲンから選ばれた一、またはそれらの内の2元素以上を含む陽イオンを

添加する工程と、を有することを特徴とする半導体装置の作製方法である。

【0012】

なお、上述の酸化物半導体層は、インジウム、ガリウムおよび亜鉛を含むと好ましい。

【0013】

また、上記において、酸化物半導体層と第2の導電層の位置関係や形成順序などは特に限定されない。第2の導電層を積層構造とする場合には、第2の導電層で酸化物半導体層の上下を挟み込むような構成としても良い。

【0014】

また、上記において、酸化物半導体層を熱処理する工程を含んでいてもよい。当該熱処理は、100 以上500 以下、好ましくは200 以上400 以下であることが望ましい。当該熱処理は、陽イオンの添加中であってもよい。これにより、水素の添加を抑制できる。

10

【0015】

また、上記において、酸化物半導体層に陽イオンを添加する工程は、少なくとも酸化物半導体層の一部が露出している段階で行うことが好ましい。

【0016】

また、上記において、第1の絶縁層または第2の絶縁層に対し、酸素、ハロゲンから選ばれた一、またはそれらの内の2元素以上を含む陽イオンを添加すると好ましい。

【0017】

また、上記において、陽イオンを添加する工程は、電子サイクロトロン共鳴プラズマ( E C R : E l e c t r o n C y c l o t r o n R e s o n a n c e P l a s m a ) 方式、ヘリコン波励起プラズマ( H W P : H e l i c o n W a v e P l a s m a ) 方式、誘導結合型プラズマ( I C P : I n d u c t i v e l y C o u p l e d P l a s m a ) 方式、マイクロ波励起表面波プラズマ( S W P : S u r f a c e W a v e P l a s m a ) 方式から選ばれた一つの方式、または、それらの組み合わせにより為されると、添加される対象へのダメージが小さいため好ましい。

20

【0018】

例えば、本明細書において開示する他の発明の一形態は、絶縁体上に酸化物半導体層を形成する工程と、酸化物半導体層と電気的に接続されるように第1の導電層を形成する工程と、酸化物半導体層および第1の導電層を覆う絶縁層を形成する工程と、絶縁層の上に、酸化物半導体層と一部重畳するように第2の導電層を形成する工程と、酸化物半導体層に、酸素、ハロゲンから選ばれた一、またはそれらの内の2元素以上を含む陽イオンを添加する工程と、を有することを特徴とする半導体装置の作製方法である。

30

【0019】

なお、上述の酸化物半導体層は、インジウム、ガリウムおよび亜鉛を含むと好ましい。

【0020】

また、上記において、酸化物半導体層と第2の導電層の位置関係や形成順序などは特に限定されない。第2の導電層を積層構造とする場合には、第2の導電層で酸化物半導体層の上下を挟み込むような構成としても良い。

【0021】

また、上記において、酸化物半導体層を熱処理する工程を含んでいてもよい。当該熱処理は、100 以上500 以下、好ましくは200 以上400 以下であることが望ましい。当該熱処理は、陽イオンの添加中であってもよい。これにより、水素の添加を抑制できる。

40

【0022】

また、上記において、酸化物半導体層に陽イオンを添加する工程は、少なくとも酸化物半導体層の一部が露出している段階で行うことが好ましい。

【0023】

また、上記において、絶縁体または絶縁層に対し、酸素、ハロゲンから選ばれた一、またはそれらの内の2元素以上を含む陽イオンを添加すると好ましい。

50

## 【 0 0 2 4 】

また、上記において、陽イオンを添加する工程は、電子サイクロトン共鳴プラズマ（ECR：Electron Cyclotron Resonance Plasma）方式、ヘリコン波励起プラズマ（HWP：Helicon Wave Plasma）方式、誘導結合型プラズマ（ICP：Inductively Coupled Plasma）方式、マイクロ波励起表面波プラズマ（SWP：Surface Wave Plasma）方式から選ばれた一つの方式、または、それらの組み合わせにより成されると、添加される対象へのダメージが小さいため好ましい。

## 【 0 0 2 5 】

なお、本明細書等において半導体装置とは、半導体特性を利用することで機能しうる装置全般を指し、表示装置、半導体回路および電子機器は全て半導体装置に含まれる。

10

## 【発明の効果】

## 【 0 0 2 6 】

開示する発明の一形態は、酸化物半導体層に対して、酸素、ハロゲンから選ばれた一、またはそれらの内の2元素以上を含む陽イオンの添加を行うものである。酸素を含む陽イオンの添加により、酸化物半導体中の酸素欠損部を減らすことができる。これにより、キャリアの数を減らすことができるため、ノーマリーオフの電界効果トランジスタを得ることが出来る。また、酸化物半導体層からの酸素の脱離を抑制できるため、長期的な特性変動の少ない酸化物半導体素子を有する半導体装置を提供することが出来る。

20

## 【 0 0 2 7 】

酸素の脱離は、酸化物半導体内に酸素欠損を生じさせ、キャリア数の増加の原因となるため好ましくない。さらなる酸素脱離の抑制には、それに加えて、酸素を含む陽イオンの添加を、当該酸化物半導体層に接する絶縁層または絶縁体に対して行うと効果的である。なお、これらの処理には、半導体素子の特性ばらつきを抑制する効果もある。

## 【 0 0 2 8 】

他方、ハロゲンを含む陽イオンを酸化物半導体層に添加することにより、あらかじめ水素を脱離させる、または、水素の動きを抑制することができるため、より真性に近い酸化物半導体を得ることができる。これにより、ノーマリーオフの電界効果トランジスタを得ることが出来る。ハロゲンを含む陽イオンは、隣接する絶縁層または絶縁体にも添加すると、酸化物半導体層の外からの水素の進入を抑えることができるため好ましい。

30

## 【 0 0 2 9 】

以上のように、開示する発明の一形態により、特性の良い半導体素子を有する半導体装置を提供することができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 3 0 】

【図1】半導体装置に用いる半導体素子の作製方法について説明する断面図である。

【図2】半導体装置に用いる半導体素子の作製方法について説明する断面図である。

【図3】半導体装置に用いる半導体素子の作製方法について説明する断面図である。

【図4】半導体装置に用いる半導体素子の作製方法について説明する断面図である。

【図5】半導体装置に用いる半導体素子の作製方法について説明する断面図である。

40

【図6】半導体装置に用いる半導体素子の作製方法について説明する断面図である。

【図7】半導体装置の作製方法を説明する断面図である。

【図8】半導体装置の作製方法を説明する断面図である。

【図9】半導体装置の平面図である。

【図10】半導体装置を説明する図である。

【図11】半導体装置を説明する図である。

【図12】半導体装置を説明する図である。

【図13】半導体装置を説明する図である。

【図14】半導体装置を説明する図である。

【図15】電子ペーパーの使用形態の例を説明する図である。

50

【図 1 6】電子書籍の例を示す外観図である。

【図 1 7】テレビジョン装置およびデジタルフォトフレームの例を示す外観図である。

【図 1 8】遊技機の例を示す外観図である。

【図 1 9】携帯電話機の例を示す外観図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 3 1 】

以下、実施の形態について、図面を用いて詳細に説明する。但し、発明は以下に示す実施の形態の記載内容に限定されず、本明細書等において開示する発明の趣旨から逸脱することなく形態および詳細を様々に変更し得ることは当業者にとって自明である。また、異なる実施の形態に係る構成は、適宜組み合わせる実施することが可能である。なお、以下に説明する発明の構成において、同一部分または同様な機能を有する部分には同一の符号を用い、その繰り返しの説明は省略する。また、本明細書中において半導体装置とは、半導体特性を利用することで機能しうる装置全般を指すものとする。

10

【 0 0 3 2 】

(実施の形態 1)

本実施の形態では、半導体装置に用いられる半導体素子の作製方法の一例について、図面を参照して説明する。本明細書中において、第一のプラズマ処理と第二のプラズマ処理を開示するが、第二のプラズマ処理を行うことが非常に重要である。第一のプラズマ処理については要求される仕様により実施者が適宜選択して実施すればよい。なお、本明細書中において、第一のプラズマ処理とは酸化物半導体層に隣接する絶縁体または絶縁層に対し

20

【 0 0 3 3 】

はじめに、基板 1 0 0 上に導電膜 1 0 2 を形成する (図 1 (A) 参照)。

【 0 0 3 4 】

基板 1 0 0 は、絶縁表面を有する基板であればよく、例えば、ガラス基板とすることができ、ガラス基板は無アルカリガラス基板であることが好ましい。無アルカリガラス基板には、例えば、アルミノシリケートガラス、アルミノホウケイ酸ガラス、バリウムホウケイ酸ガラス等のガラス材料が用いられる。他にも、基板 1 0 0 として、セラミック基板、石英基板やサファイア基板等の絶縁体でなる絶縁性基板、シリコン等の半導体材料でなる半導体基板の表面を絶縁材料で被覆したもの、金属やステンレス等の導電体でなる導電性基板の表面を絶縁材料で被覆したものをを用いることができる。また、作製工程の熱処理に耐えられるのであれば、プラスチック基板を用いることもできる。

30

【 0 0 3 5 】

導電膜 1 0 2 は、アルミニウム (A l)、銅 (C u)、モリブデン (M o)、タングステン (W)、チタン (T i) 等の導電性材料で形成することが望ましい。形成方法としては、スパッタリング法や真空蒸着法、プラズマ C V D 法などがある。なお、導電膜 1 0 2 にアルミニウム (または銅) を用いる場合、アルミニウム単体 (または銅単体) では耐熱性が低く、腐蝕しやすい等の問題があるため、耐熱性導電性材料と組み合わせて形成することが好ましい。

40

【 0 0 3 6 】

耐熱性導電性材料としては、チタン (T i)、タンタル (T a)、タングステン (W)、モリブデン (M o)、クロム (C r)、ネオジウム (N d)、スカンジウム (S c) から選ばれた元素を含む金属、上述した元素を成分とする合金、上述した元素を組み合わせた合金、または上述した元素を成分とする窒化物などを用いることができる。これらの耐熱性導電性材料とアルミニウム (または銅) を積層させて、導電膜 1 0 2 を形成すればよい。

【 0 0 3 7 】

図示しないが、基板 1 0 0 上には下地層を設けても良い。下地層は、基板 1 0 0 からのアルカリ金属 (L i、C s、N a 等) やアルカリ土類金属 (C a、M g 等)、その他の不純物の拡散を防止する機能を有する。つまり、下地層を設けることにより、半導体装置の信

50

頼性向上という課題を解決することができる。下地層は、窒化シリコン、酸化シリコンなどの各種絶縁材料を用いて、単層構造または積層構造で形成すればよい。具体的には、例えば、基板100側から窒化シリコンと酸化シリコンを順に積層した構成とすることが好適である。窒化シリコンは、不純物に対するブロッキング効果が高いためである。一方で、窒化シリコンが半導体と接する場合には、半導体素子に不具合が発生する可能性もあるため、半導体と接する材料としては、酸化シリコンを適用するのがよい。

#### 【0038】

次に、導電膜102上に選択的にレジストマスク104を形成し、該レジストマスク104を用いて導電膜102を選択的にエッチングすることで、ゲート電極として機能する導電層106を形成する(図1(B)参照)。

10

#### 【0039】

レジストマスク104は、レジスト材料の塗布、フォトマスクを用いた露光、現像、等の工程を経ることにより形成される。レジスト材料の塗布は、スピンコート法などの方法を適用することができる。また、レジストマスク104は、液滴吐出法やスクリーン印刷法などを用いて選択的に形成しても良い。この場合、フォトマスクを用いた露光、現像等の工程が不要になるため、生産性向上という課題を解決することが可能である。なお、レジストマスク104は、導電膜102のエッチングにより導電層106が形成された後には除去される。

#### 【0040】

上述のエッチングには、ドライエッチングを用いても良いし、ウエットエッチングを用いても良い。また、後に形成されるゲート絶縁層等の被覆性を向上し、段切れを防止するために、導電層106の端部がテーパ形状となるようエッチングすると良い。例えば、テーパ角が20°以上90°未満となるような形状とすることが好ましい。ここで、「テーパ角」とは、テーパ形状を有する層を断面方向から観察した際に、当該層の側面と底面とがなす鋭角をいう。

20

#### 【0041】

次に、導電層106を覆うように、ゲート絶縁層として機能する絶縁層108を形成する(図1(C)参照)。絶縁層108は、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化シリコン、窒化酸化シリコン、酸化アルミニウム、酸化タンタル等の材料を用いて形成することができる。また、これらの材料からなる膜を積層させて形成しても良い。これらの膜は、スパッタリング法等を用いて厚さが5nm以上250nm以下となるように形成すると好ましい。例えば、絶縁層108として、スパッタリング法を用いて、酸化シリコン膜を100nmの厚さで形成することができる。

30

#### 【0042】

他の方法(プラズマCVD法など)を用いて絶縁層108を形成する場合には、膜中の水素や窒素などの影響を考慮すべきであるが、所定の絶縁層108が得られるのであれば、作製方法については特に限定されない。例えば、絶縁層108中の水素濃度、窒素濃度が、後に形成される酸化物半導体層中より低いことを目安とすればよい。より具体的には、絶縁層108中の水素の濃度が $1 \times 10^{21} \text{ atoms/cm}^3$ 以下(好ましくは、 $5 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 以下)、絶縁層108中の窒素の濃度が $1 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以下とすれば良い。なお、良好な特性の絶縁層108を得るためには、成膜の温度条件は400以下とすることが望ましいが、開示する発明の一形態がこれに限定して解釈されるものではない。また、上記濃度は、絶縁層108中での平均値を示している。

40

#### 【0043】

また、スパッタリング法とCVD法(プラズマCVD法など)とを組み合わせ、積層構造の絶縁層108を形成しても良い。例えば、絶縁層108の下層(導電層106と接する領域)をプラズマCVD法により形成し、絶縁層108の上層をスパッタリング法により形成することができる。プラズマCVD法は、段差被覆性の良い膜を形成することが容易であるため、導電層106の直上に形成する膜を形成する方法として適している。また

50

、スパッタリング法では、プラズマCVD法と比較して、膜中の水素濃度を低減することが容易であるため、スパッタリング法による膜を酸化物半導体層と接する領域に設けることで、絶縁層108中の水素が酸化物半導体層中へ拡散することを防止できる。酸化物半導体層内もしくはその近傍に存在する水素の半導体特性に与える影響は極めて大きいため、このような構成を採用することは効果的である。

#### 【0044】

なお、本明細書等において、酸化窒化物とは、その組成において、窒素よりも酸素の含有量（原子数）が多いものを示し、例えば、酸化窒化シリコンとは、酸素が50原子%以上70原子%以下、窒素が0.5原子%以上15原子%以下、シリコンが25原子%以上35原子%以下、水素が0.1原子%以上10原子%以下の範囲で含まれるものをいう。また、窒化酸化物とは、その組成において、酸素よりも窒素の含有量（原子数）が多いものを示し、例えば、窒化酸化シリコンとは、酸素が5原子%以上30原子%以下、窒素が20原子%以上55原子%以下、シリコンが25原子%以上35原子%以下、水素が10原子%以上25原子%以下の範囲で含まれるものをいう。但し、上記範囲は、ラザフォード後方散乱法（RBS：Rutherford Backscattering Spectrometry）や、水素前方散乱法（HFS：Hydrogen Forward Scattering）を用いて測定した場合のものである。また、構成元素の含有比率の合計は100原子%を超えない。

#### 【0045】

つづいて、絶縁層108に対し、第一のプラズマ処理を行う。当該処理は、酸素、またはハロゲン、またはそれらの内の2元素以上を含むプラズマを発生させて行う。プラズマを発生させる方式として、電子サイクロトン共鳴プラズマ（ECR：Electron Cyclotron Resonance Plasma）方式、ヘリコン波励起プラズマ（HWP：Helicon Wave Plasma）方式、誘導結合型プラズマ（ICP：Inductively Coupled Plasma）方式、マイクロ波励起表面波プラズマ（SWP：Surface Wave Plasma）方式などがある。これらの方式では、放電パワーによるイオンフラックスの制御と、バイアスパワーによるイオンエネルギーをそれぞれ独立で制御でき、 $1 \times 10^{11}$  ions/cm<sup>3</sup>以上 $1 \times 10^{13}$  ions/cm<sup>3</sup>以下程度の高い電子密度が得られる。このとき、基板100には負のバイアスがかかっているため、絶縁層108に導入されるイオンは陽イオンのみである。代表的には、O<sup>+</sup>、O<sup>2+</sup>、O<sup>3+</sup>、O<sup>4+</sup>、O<sup>5+</sup>、O<sup>6+</sup>などの酸素イオン、Cl<sup>+</sup>、Cl<sup>2+</sup>、Cl<sup>3+</sup>、Cl<sup>4+</sup>、Cl<sup>5+</sup>、Cl<sup>6+</sup>、Cl<sup>7+</sup>などの塩素イオン、F<sup>+</sup>、F<sup>2+</sup>、F<sup>3+</sup>、F<sup>4+</sup>、F<sup>5+</sup>、F<sup>6+</sup>、F<sup>7+</sup>などのフッ素イオンなどが絶縁層108に注入される。

#### 【0046】

プラズマのエネルギーを高くすることにより、低い価数の陽イオンに加え、高い価数の陽イオンが生成される。高い価数の陽イオンはより高いエネルギーを持って絶縁層108に注入されるため、低い価数の陽イオンと比較して、絶縁層108の表面からより深い位置に添加される。その深さは価数におおよそ比例する。これにより、陽イオンは絶縁層108に対してより一様な分布で添加されるため好ましい。具体的には、1価の陽イオンが深さdあたりにピークを持つ分布を形成するのであれば、2価の陽イオンは深さ2dあたりにピークを形成する。同様に3価、4価と価数が増えるに従って、ピーク位置も3d、4dと深くなる。また、当該ピーク位置が深くなるに伴い、分布も広がる傾向にある。従って、例えば、d=10nmの場合、厚さ50nmの絶縁層108に対しては、2価以上好ましくは4価以上の陽イオンを含むプラズマを形成し、添加することが好ましい。厚さ70nmの絶縁層108に対しては、3価以上好ましくは6価以上の陽イオンを含むプラズマを形成し、添加することが好ましい。陽イオンを添加する層の厚さtと、含まれると好ましい陽イオンの価数nとの関係式を以下に示す。n=[t/2d]、好ましくは、n=2×[t/2d]である。なお、[x]は、xを超えない最大の整数を示す。

#### 【0047】



このような高い価数の陽イオンを生成するためには、プラズマの電子温度を 5 eV 以上 100 eV 以下とすればよい。また、陽イオンの添加の際、基板温度を 100 以上 500 以下とすることで、同時に添加される水素の量を抑えることができるため好ましい。基板温度を高温にすればするほど絶縁層 108 からの水素の脱離が顕著となるためである。しかし、500 以上の高温としてしまうと、低温で作製可能な酸化物半導体素子の特長を損なうため好ましくない。また、当該熱処理後、冷却速度を高める工程を入れてもよい。なお、当該第一のプラズマ処理は室温（本明細書中では 25 と定義する）で行ってもよく、室温より低い温度にて行ってもよい。

#### 【0048】

本実施の形態において、上記第一のプラズマ処理に、誘導結合型プラズマ（ICP）方式を採用した。推奨される処理条件の一例は、ICPへの投入電力100W以上2000W以下、基板側に設けられる下部電極への投入電力0W以上300W以下、処理時間10秒以上100秒以下、処理チャンバー内圧力0.1Pa以上100Pa以下、酸素（O<sub>2</sub>）流量10sccm以上500sccm以下、下部電極温度-20 以上500 以下、ICPのRF電源周波数13.56MHzである。なお、下部電極温度は基板に伝わるため、基板温度が500 を超えないようにする。また、下部電極へ電力を投入する場合、下部電極に与えるRF電源周波数は、3.2MHzまたは13.56MHzを推奨する。なお、酸素（O<sub>2</sub>）の代わりにフッ素や塩素などのハロゲンを同程度の流量にて流してもよい。また、これらの元素を2元素以上含む気体を流してもよい。

#### 【0049】

次に、絶縁層108を覆うように酸化物半導体膜110を形成する（図1（D）参照）。本実施の形態においては、酸化物半導体膜110に金属酸化物半導体材料を用いる。

#### 【0050】

酸化物半導体層としては、少なくともIn、Ga、Sn、Zn、Al、Mg、Hf及びランタノイドから選ばれた一種以上の元素を含有する。例えば、四元系金属の酸化物であるIn-Sn-Ga-Zn-O系酸化物半導体や、三元系金属の酸化物であるIn-Ga-Zn-O系酸化物半導体、In-Sn-Zn-O系酸化物半導体、In-Al-Zn-O系酸化物半導体、Sn-Ga-Zn-O系酸化物半導体、Al-Ga-Zn-O系酸化物半導体、Sn-Al-Zn-O系酸化物半導体、In-Hf-Zn-O系酸化物半導体、In-La-Zn-O系酸化物半導体、In-Ce-Zn-O系酸化物半導体、In-P

r-Zn-O系酸化物半導体、In-Nd-Zn-O系酸化物半導体、In-Pm-Zn-O系酸化物半導体、In-Sm-Zn-O系酸化物半導体、In-Eu-Zn-O系酸化物半導体、In-Gd-Zn-O系酸化物半導体、In-Tb-Zn-O系酸化物半導体、In-Dy-Zn-O系酸化物半導体、In-Ho-Zn-O系酸化物半導体、In-Er-Zn-O系酸化物半導体、In-Tm-Zn-O系酸化物半導体、In-Yb-Zn-O系酸化物半導体、In-Lu-Zn-O系酸化物半導体や、二元系金属の酸化物であるIn-Zn-O系酸化物半導体、Sn-Zn-O系酸化物半導体、Al-Zn-O系酸化物半導体、Zn-Mg-O系酸化物半導体、Sn-Mg-O系酸化物半導体、In-Mg-O系酸化物半導体や、In-Ga-O系の材料、一元系金属の酸化物であるIn-O系酸化物半導体、Sn-O系酸化物半導体、Zn-O系酸化物半導体などを用いることができる。また、上記酸化物半導体にInとGaとSnとZnとAlとMgとHf及びランタノイド以外の元素、例えばSiO<sub>2</sub>を含ませてもよい。

#### 【0051】

例えば、In Ga Zn O系酸化物半導体とは、インジウム（In）、ガリウム（Ga）、亜鉛（Zn）を有する酸化物半導体、という意味であり、その組成比は問わない。

#### 【0052】

上記酸化物半導体材料の一例としては、InMO<sub>3</sub>（ZnO）<sub>m</sub>（m>0）で表記されるものがある。ここで、Mは、亜鉛（Zn）、ガリウム（Ga）、鉄（Fe）、ニッケル（Ni）、マンガン（Mn）、コバルト（Co）などから選ばれた一の金属元素または複数の金属元素を示す。例えばMとしてGaが選択される場合には、Gaのみの場合の他に、

10

20

30

40

50

GaとNiや、GaとFeなど、Ga以外の上記金属元素が選択される場合を含む。また、上記酸化物半導体において、Mとして含まれる金属元素の他に、不純物元素としてFe、Niその他の遷移金属元素、または該遷移金属の酸化物が含まれているものがある。もちろん、酸化物半導体材料は上記の材料に限定されず、酸化亜鉛や酸化インジウムをはじめとする各種酸化物半導体材料を用いることができる。

#### 【0053】

酸化物半導体材料としてIn-Ga-Zn-O系の材料を用いて酸化物半導体膜110を形成する場合には、例えば、In、Ga、Znを含む酸化物半導体ターゲット( $\text{In}_2\text{O}_3$ : $\text{Ga}_2\text{O}_3$ : $\text{ZnO}$ =1:1:1)を用いたスパッタリング法で形成することができる。該スパッタリングは、例えば、基板100とターゲットとの距離を30mm~500mm、圧力を0.1Pa~2.0Pa、直流(DC)電源を0.25kW~5.0kW、温度を20~100、雰囲気をアルゴン等の希ガス雰囲気、酸素雰囲気、またはアルゴン等の希ガスと酸素との混合雰囲気とする条件で行うことができる。また、上記のスパッタリング法としては、スパッタリング用電源に高周波電源を用いるRFスパッタリング法や、直流電源を用いるDCスパッタリング法、パルス的に直流バイアスを加えるパルスDCスパッタリング法などを用いることができる。

10

#### 【0054】

また、酸化物半導体としてIn-Zn-O系の材料を用いる場合、用いるターゲットの組成比は、原子数比で、 $\text{In}:\text{Zn}=50:1\sim1:2$ (モル数比に換算すると $\text{In}_2\text{O}_3:\text{ZnO}=25:1\sim1:4$ )、好ましくは $\text{In}:\text{Zn}=20:1\sim1:1$ (モル数比に換算すると $\text{In}_2\text{O}_3:\text{ZnO}=10:1\sim1:2$ )、さらに好ましくは $\text{In}:\text{Zn}=15:1\sim1.5:1$ (モル数比に換算すると $\text{In}_2\text{O}_3:\text{ZnO}=15:2\sim3:4$ )とする。例えば、In-Zn-O系酸化物半導体の形成に用いるターゲットは、原子数比が $\text{In}:\text{Zn}:\text{O}=X:Y:Z$ のとき、 $Z>1.5X+Y$ とする。

20

#### 【0055】

本実施の形態においては、酸化物半導体膜110を単層で形成する場合について示しているが、酸化物半導体膜110は、積層構造としても良い。例えば、絶縁層108上に、酸化物半導体膜110と同様の組成の酸化物半導体膜(以下「通常の導電性の酸化物半導体膜」と呼ぶ)を形成し、その後、酸化物半導体膜110と構成元素が同じでその構成比率が異なる酸化物半導体膜(以下「導電性の高い酸化物半導体膜」と呼ぶ)を形成して、上記構成に代えることができる。この場合、導電性の高い酸化物半導体膜をソース電極(またはドレイン電極)と通常の導電性の酸化物半導体膜との間に設けることになるため、素子特性の向上につながる。

30

#### 【0056】

通常の導電性の酸化物半導体膜と、導電性の高い酸化物半導体膜とは、例えば、成膜条件を異ならせることで形成することができる。この場合、導電性の高い酸化物半導体膜の成膜条件は、通常の導電性の酸化物半導体膜の成膜条件より、アルゴンガスの流量に対する酸素ガスの流量を小さいものとするときと良い。より具体的には、導電性の高い酸化物半導体膜の成膜条件は、希ガス(アルゴン、又はヘリウムなど)雰囲気下、または、酸素ガス10%以下、希ガス90%以上の雰囲気下とし、通常の導電性の酸化物半導体膜の成膜条件は、酸素雰囲気下、または、希ガスに対する酸素ガスの流量比が1以上の雰囲気下とする。このようにすることで、導電性の異なる2種類の酸化物半導体膜を形成することができる。

40

#### 【0057】

また、プラズマ処理を行った後、大気に曝すことなく酸化物半導体膜110を形成する場合には、絶縁層108と酸化物半導体膜110の界面にゴミや水分が付着することを抑制することができる。

#### 【0058】

なお、酸化物半導体膜110の膜厚は、5nm~200nm程度とすればよい。

#### 【0059】

50

つづいて、酸化物半導体膜 110 に対し、第二のプラズマ処理を行う。図 1 (D) 中の + の記号は陽イオンを示す。当該処理は、第一のプラズマ処理と同様の方法を用いて行うことができる。なお、当該第二のプラズマ処理は、酸化物半導体膜 110 の露出している段階で行えばよい。必ずしもこの段階で行う必要はない。当該プラズマ処理を行うことで、半導体素子の特性を飛躍的に向上させ、また、特性ばらつきを低減させることができる。

#### 【0060】

また、酸化物半導体膜 110 を m 層の多層構造とする場合、例えば第 1 層から (m - 1) 層を形成後のいずれかの段階において、第二のプラズマ処理を行ってもよい。また、当該第二のプラズマ処理での熱処理後、冷却速度を高める工程を入れてもよい。なお、当該第二のプラズマ処理は室温で行ってもよく、室温より低い温度にて行ってもよい。

10

#### 【0061】

次に、酸化物半導体膜 110 上に選択的にレジストマスク 112 を形成し、該レジストマスク 112 を用いて酸化物半導体膜 110 を選択的にエッチングすることで、酸化物半導体層 114 を形成する (図 1 (E) 参照)。ここで、レジストマスク 112 は、レジストマスク 104 と同様の方法で形成することができる。また、レジストマスク 112 は、酸化物半導体膜 110 のエッチングにより酸化物半導体層 114 が形成された後には除去される。

#### 【0062】

酸化物半導体膜 110 のエッチングの方法としては、ウエットエッチングまたはドライエッチングを用いることができる。ここでは、酢酸と硝酸と磷酸との混合液を用いたウエットエッチングにより、酸化物半導体膜 110 の不要な部分を除去して、酸化物半導体層 114 を形成する。なお、上記のウエットエッチングに用いることができるエッチャント (エッチング液) は酸化物半導体膜 110 をエッチングできるものであればよく、上述したものに限られない。

20

#### 【0063】

ドライエッチングを行う場合は、例えば、塩素原子を含有するガス (例えば、塩素 ( $\text{Cl}_2$ )、二酸化塩素 ( $\text{ClO}_2$ ) など) または塩素原子を含有するガスに酸素 ( $\text{O}_2$ ) が添加されたガスを用いると良い。塩素原子を含有するガスを用いることで、導電層や下地層と、酸化物半導体膜 110 とのエッチング選択比がとりやすくなるためである。

30

#### 【0064】

ドライエッチングには、反応性イオンエッチング法 (RIE 法) を用いたエッチング装置や、ECR (Electron Cyclotron Resonance) や ICP (Inductively Coupled Plasma) などの高密度プラズマ源を用いたドライエッチング装置を用いることができる。また、それらに類似した技術を用いてもよい。

#### 【0065】

次に、絶縁層 108 および酸化物半導体層 114 を覆うように、導電膜 116 を形成する (図 2 (A) 参照)。導電膜 116 は、導電膜 102 と同様の材料、方法によって形成することができる。例えば、導電膜 116 を、モリブデン膜やチタン膜の単層構造で形成することができる。また、導電膜 116 を積層構造で形成してもよく、例えば、アルミニウム膜とチタン膜との積層構造とすることができる。また、チタン膜と、アルミニウム膜と、チタン膜とを順に積層した 3 層構造としてもよい。また、モリブデン膜とアルミニウム膜とモリブデン膜とを順に積層した 3 層構造としてもよい。また、これらの積層構造に用いるアルミニウム膜として、ネオジムを含むアルミニウム (Al - Nd) 膜を用いてもよい。さらに、導電膜 116 を、シリコンを含むアルミニウムの単層構造としてもよい。

40

#### 【0066】

次に、導電膜 116 上に選択的にレジストマスク 118 およびレジストマスク 120 を形成し、該レジストマスクを用いて導電膜 116 を選択的にエッチングすることで、ソース電極またはドレイン電極の一方として機能する導電層 122 およびソース電極またはドレ

50

イン電極の他方として機能する導電層 1 2 4 を形成する（図 2（B）参照）。ここで、レジストマスク 1 1 8 およびレジストマスク 1 2 0 は、レジストマスク 1 0 4 と同様の方法で形成することができる。また、レジストマスク 1 1 8 およびレジストマスク 1 2 0 は、導電膜 1 1 6 のエッチングにより導電層 1 2 2 および導電層 1 2 4 が形成された後には除去される。

【 0 0 6 7 】

レジストマスク 1 1 8 は、多階調マスクを用いて形成しても良い。ここで、多階調マスクとは、多段階の光量で露光を行うことが可能なマスクをいう。これを用いることで、一度の露光および現像工程によって、複数（代表的には 2 種類）の厚さのレジストマスクを形成することができる。つまり、多階調マスクを用いることで、工程数の増加を抑制することが

10

【 0 0 6 8 】

導電膜 1 1 6 のエッチングの方法としては、ウエットエッチングまたはドライエッチングを用いることができる。ここでは、ドライエッチングにより導電膜 1 1 6 の不要な部分を除去して、導電層 1 2 2 および導電層 1 2 4 を形成する。

【 0 0 6 9 】

なお、本実施の形態においては、上記導電膜 1 1 6 のエッチングの際に酸化物半導体層 1 1 4 の一部が除去される構成（チャネルエッチ型）としているが、開示する発明の一形態はこれに限定されない。エッチングの進行を停止させる層（エッチストップ）を酸化物半導体層 1 1 4 と導電膜 1 1 6 との間に形成して、酸化物半導体層 1 1 4 がエッチングされない構成（エッチストップ型）とすることもできる。

20

【 0 0 7 0 】

導電層 1 2 2 および導電層 1 2 4 を形成した後は、1 0 0 ～ 5 0 0 、代表的には 2 0 0 ～ 4 0 0 の熱処理を行う。熱処理の雰囲気は、例えば、大気雰囲気や窒素雰囲気、酸素雰囲気等とすることができる。また、熱処理時間は、0 . 1 時間～ 5 時間程度とすればよい。ここでは、大気雰囲気下で 3 5 0 、1 時間の熱処理を行うこととする。なお、該熱処理のタイミングは、酸化物半導体膜 1 1 0 を形成した後、層間絶縁層にあたる絶縁層を形成する前であれば特に限定されない。例えば、酸化物半導体膜 1 1 0 を形成した直後に上記の熱処理を行っても良い。また、酸化物半導体層 1 1 4 を形成した直後や、導電膜 1 1 6 を形成した直後であっても良い。当該熱処理（第 1 の熱処理）と後の熱処理（第 2 の熱処理）とを行うことで、半導体素子の特性を向上させ、また、特性ばらつきを低減させることができる。

30

【 0 0 7 1 】

なお、上記熱処理の条件を 4 0 0 以下とすることは、ゲート絶縁層として機能する絶縁層 1 0 8 の特性を変化させない（劣化させない）ために好適である。もちろん、開示する発明の一形態がこれに限定して解釈されるものではない。

【 0 0 7 2 】

次に、導電層 1 2 2、導電層 1 2 4、酸化物半導体層 1 1 4 などを覆うように絶縁層 1 2 6 を形成する（図 2（C）参照）。ここで、絶縁層 1 2 6 は、いわゆる層間絶縁層にあたる。絶縁層 1 2 6 は、酸化シリコン、酸化アルミニウム、酸化タンタル等の材料を用いて形成することができる。また、これらの材料からなる膜を積層させて形成しても良い。

40

【 0 0 7 3 】

絶縁層 1 2 6 中の水素の濃度が  $1 \times 10^{21} \text{ atoms/cm}^3$  以下（特に、 $5 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$  以下）であると好ましい。また、絶縁層 1 2 6 中の窒素の濃度が  $1 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$  以下であると好ましい。なお、上記濃度は、絶縁層 1 2 6 中での平均値を示している。

【 0 0 7 4 】

上述のような条件を満たす絶縁層 1 2 6 のより具体的な一例として、スパッタリング法により形成された酸化シリコン膜を挙げることができる。スパッタリング法を用いる場合には、プラズマ CVD 法を用いる場合と比較して、膜中の水素濃度の低減が容易になるため

50

である。もちろん、上述の条件を満たすのであれば、プラズマCVD法を含む他の方法により形成しても良い。例えば、プラズマCVD法にて絶縁層126を形成後、絶縁層108に対して行ったのと同様のプラズマ処理を当該絶縁層126に施して、膜中の水素濃度を下げることができる。絶縁層126のその他の条件については、特に限定されない。例えば、絶縁層126の厚さについては、実現可能な範囲であればどのような値をとっても良い。

#### 【0075】

その後、各種電極や配線を形成することでトランジスタ150を具備する半導体装置が完成する(図2(D)参照)。本実施の形態においては代表的に、表示装置の画素電極として機能する導電層128を形成する例について示すが、開示する発明の一形態はこれに限定されない。

10

#### 【0076】

導電層128を形成した後は、100 ~ 500、代表的には200 ~ 400の熱処理を行う。熱処理の雰囲気は、例えば、大気雰囲気や窒素雰囲気、酸素雰囲気等とすることができる。また、熱処理時間は、0.1時間~5時間程度とすればよい。ここでは、大気雰囲気下で350、1時間の熱処理を行うこととする。なお、該熱処理のタイミングは、絶縁層126を形成した後であれば特に限定されない。例えば、絶縁層126を形成した直後に上記の熱処理を行っても良いし、さらに他の絶縁層や導電層などを形成した後に、上記の熱処理を行っても良い。当該熱処理(第2の熱処理)と先の熱処理(第1の熱処理)とを行うことによって、半導体素子の特性を向上させ、また、特性ばらつきを低減させることができる。

20

#### 【0077】

なお、第2の熱処理の効果は、上述のものに留まらない。例えば、第2の熱処理は、絶縁層126の欠陥を修復するという効果をも有している。絶縁層126は比較的低温で形成されるため、膜中には欠陥が存在しており、そのまま使用した場合には素子特性に悪影響を及ぼすおそれがある。このような絶縁層126中の欠陥を修復するという観点からも、上述の熱処理は重要な役割を果たすと言える。

#### 【0078】

また、上記熱処理の条件を400以下とすることは、ゲート絶縁層として機能する絶縁層108の特性を変化させない(劣化させない)ために好適である。もちろん、開示する発明の一形態がこれに限定して解釈されるものではない。

30

#### 【0079】

本実施の形態において示すように、酸化物半導体膜110に陽イオンによるプラズマ処理を施すことにより、優れた特性の酸化物半導体素子を提供することができる。当該処理は、酸化物半導体膜110に接する絶縁層108または絶縁層126またはそれらの両方にも行うことにより、より信頼性の高い半導体素子を得ることができる。これにより、優れた特性の酸化物半導体素子を備えた半導体装置を提供することができる。

#### 【0080】

本実施の形態は他の実施の形態と適宜組み合わせることができる。

#### 【0081】

##### (実施の形態2)

本実施の形態では、半導体装置に用いられる半導体素子の作製方法につき、上記実施の形態と異なる一例について図面を参照して説明する。なお、本実施の形態における半導体装置の作製工程は、多くの部分で先の実施の形態と共通している。したがって、以下においては、重複する部分の説明は省略し、異なる点について詳細に説明する。

40

#### 【0082】

はじめに、基板200上に導電膜202を形成する(図3(A)参照)。基板200、導電膜202、その他の詳細については、先の実施の形態(図1(A)の説明部分など)を参照すればよい。また、基板200上には下地層を設けても良い。下地層の詳細についても、先の実施の形態を参照することができる。

50

## 【0083】

次に、導電膜202上に選択的にレジストマスク204を形成し、該レジストマスク204を用いて導電膜202を選択的にエッチングすることで、ゲート電極として機能する導電層206を形成する(図3(B)参照)。レジストマスク204、導電層206、エッチング、その他の詳細については、先の実施の形態(図1(B)の説明部分など)を参照することができる。

## 【0084】

次に、導電層206を覆うように、ゲート絶縁層として機能する絶縁層208を形成する(図3(C)参照)。絶縁層208、その他の詳細については、先の実施の形態(図1(C)の説明部分など)を参照すればよい。

10

## 【0085】

つづいて、実施の形態1で示した第一のプラズマ処理と同様の処理を行う。当該プラズマ処理は、絶縁層208の少なくとも一部が露出している段階で行えばよく、必ずしもこの段階で行う必要はない。当該プラズマはマイクロ波により生成してもよい。このときの周波数は例えば、2.45GHzとする。

## 【0086】

次に、絶縁層208を覆うように導電膜210を形成する(図3(D)参照)。導電膜210は、導電膜202と同様の材料、方法によって形成することができる。つまり、詳細については、先の実施の形態(図1(A)、図2(A)の説明部分など)を参照すればよい。

20

## 【0087】

次に、導電膜210上に選択的にレジストマスク212およびレジストマスク214を形成し、該レジストマスクを用いて導電膜210を選択的にエッチングすることで、ソース電極またはドレイン電極の一方として機能する導電層216およびソース電極またはドレイン電極の他方として機能する導電層218を形成する(図3(E)参照)。レジストマスク212およびレジストマスク214は、レジストマスク204と同様にして形成することができる。つまり、レジストマスクの詳細については、先の実施の形態(図1(B)、図2(B)の説明部分など)を参照すればよい。

## 【0088】

導電膜210のエッチングの方法としては、ウエットエッチングまたはドライエッチングを用いることができる。ここでは、ドライエッチングにより導電膜210の不要な部分を除去して、導電層216および導電層218を形成する。なお、本実施の形態においては示していないが、当該エッチングにより絶縁層208の一部が除去されることがある。

30

## 【0089】

次に、絶縁層208、導電層216、導電層218等を覆うように酸化物半導体膜220を形成する(図4(A)参照)。酸化物半導体膜220の詳細については、先の実施の形態(図1(D)の説明部分など)を参照することができる。

## 【0090】

つづいて、実施の形態1で示した第二のプラズマ処理と同様の処理を行う。図4(A)中の+の記号は陽イオンを示す。当該プラズマ処理は、酸化物半導体膜220の少なくとも一部が露出している段階で行えばよく、必ずしもこの段階で行う必要はない。当該プラズマはマイクロ波により生成してもよい。このときの周波数は例えば、2.45GHzとする。

40

## 【0091】

次に、酸化物半導体膜220上に選択的にレジストマスク222を形成し、該レジストマスク222を用いて酸化物半導体膜220を選択的にエッチングすることで、酸化物半導体層224を形成する(図4(B)参照)。レジストマスク222の詳細については、先の実施の形態(図1(B)、図1(E)の説明部分など)を参照すればよい。

## 【0092】

酸化物半導体膜220のエッチングの方法としては、ウエットエッチングまたはドライエ

50

エッチングを用いることができる。ここでは、酢酸と硝酸と燐酸との混合液を用いたウェットエッチングにより、酸化物半導体膜 220 の不要な部分を除去して、酸化物半導体層 224 を形成する。なお、上記のウェットエッチングに用いることができるエッチャント（エッチング液）は酸化物半導体膜 220 をエッチングできるものであればよく、上述したものに限られない。

【0093】

ドライエッチングを行う場合は、例えば、塩素原子を含有するガス（例えば、塩素（ $\text{Cl}_2$ ）、二酸化塩素（ $\text{ClO}_2$ ）など）または塩素原子を含有するガスに酸素（ $\text{O}_2$ ）が添加されたガスを用いると良い。塩素原子を含有するガスを用いることで、導電層や下地層と、酸化物半導体膜 220 とのエッチング選択比がとりやすくなるためである。なお、エッチングのその他の詳細については、先の実施の形態を参照すればよい。

10

【0094】

酸化物半導体層 224 を形成した後は、100 ～ 500 、代表的には 200 ～ 400 の熱処理を行う。熱処理の雰囲気は、例えば、大気雰囲気や窒素雰囲気、酸素雰囲気等とすることができる。また、熱処理時間は、0.1 時間～5 時間程度とすればよい。ここでは、大気雰囲気下で 350 、1 時間の熱処理を行うこととする。なお、該熱処理のタイミングは、酸化物半導体膜 220 を形成した後、層間絶縁層にあたる絶縁層を形成する前であれば特に限定されない。例えば、酸化物半導体膜 220 を形成した直後に上記の熱処理を行っても良い。当該熱処理（第 1 の熱処理）と後の熱処理（第 2 の熱処理）とを行うことで、半導体素子の特性を向上させ、また、特性ばらつきを低減させることができる。

20

【0095】

なお、上記熱処理の条件を 400 以下とすることは、ゲート絶縁層として機能する絶縁層 208 の特性を変化させない（劣化させない）ために好適である。もちろん、開示する発明の一形態がこれに限定して解釈されるものではない。

【0096】

次に、導電層 216、導電層 218、酸化物半導体層 224 などを用いて絶縁層 226 を形成する（図 4（C）参照）。ここで、絶縁層 226 は、いわゆる層間絶縁層にあたる。絶縁層 226 は、酸化シリコン、酸化アルミニウム、酸化タンタル等の材料を用いて形成することができる。また、これらの材料からなる膜を積層させて形成しても良い。

30

【0097】

つづいて、実施の形態 1 で示した第一のプラズマ処理と同様の処理を行う。当該プラズマ処理は、絶縁層 226 の少なくとも一部が露出している段階で行えばよく、必ずしもこの段階で行う必要はない。

【0098】

絶縁層 226 中の水素の濃度が  $1 \times 10^{21} \text{ atoms/cm}^3$  以下（特に、 $5 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$  以下）であると好ましい。また、絶縁層 226 中の窒素の濃度が  $1 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$  以下であると好ましい。なお、上記濃度は、絶縁層 226 中での平均値を示している。

【0099】

上述のような条件を満たす絶縁層 226 のより具体的な一例として、スパッタリング法により形成された酸化シリコン膜を挙げることができる。スパッタリング法を用いる場合には、プラズマ CVD 法を用いる場合と比較して、膜中の水素濃度の低減が容易になるためである。もちろん、上述の条件を満たすのであれば、プラズマ CVD 法を含む他の方法により形成しても良い。例えば、プラズマ CVD 法にて絶縁層 226 を形成後、先の実施の形態 1 に示した絶縁層 108 に対して行ったのと同様のプラズマ処理を当該絶縁層 226 に施して、膜中の水素濃度を下げることができる。絶縁層 226 のその他の条件については、特に限定されない。例えば、絶縁層 226 の厚さについては、実現可能な範囲であればどのような値をとっても良い。

40

【0100】

50

その後、各種電極や配線を形成することでトランジスタ250を具備する半導体装置が完成する(図4(D)参照)。本実施の形態においては代表的に、表示装置の画素電極として機能する導電層228を形成する例について示す(図4(D)参照)が、開示する発明の一形態はこれに限定されない。

#### 【0101】

導電層228を形成した後は、100 ~ 500、代表的には200 ~ 400の熱処理を行う。熱処理の雰囲気は、例えば、大気雰囲気や窒素雰囲気、酸素雰囲気等とすることができる。また、熱処理時間は、0.1時間~5時間程度とすればよい。ここでは、大気雰囲気下で350、1時間の熱処理を行うこととする。なお、該熱処理のタイミングは、絶縁層226を形成した後であれば特に限定されない。例えば、絶縁層226を形成した直後に上記の熱処理を行っても良いし、さらに他の絶縁層や導電層などを形成した後に、上記の熱処理を行っても良い。当該熱処理(第2の熱処理)と先の熱処理(第1の熱処理)とを行うことによって、半導体素子の特性を向上させ、また、特性ばらつきを低減させることができる。

10

#### 【0102】

なお、第2の熱処理の効果は、上述のものに留まらない。例えば、第2の熱処理は、絶縁層226の欠陥を修復するという効果をも有している。絶縁層226は比較的低温で形成されるため、膜中には欠陥が存在しており、そのまま使用した場合には素子特性に悪影響を及ぼすおそれがある。このような絶縁層226中の欠陥を修復するという観点からも、上述の熱処理は重要な役割を果たすと言える。

20

#### 【0103】

また、上記熱処理の条件を400以下とすることは、ゲート絶縁層として機能する絶縁層208の特性を変化させない(劣化させない)ために好適である。もちろん、開示する発明の一形態がこれに限定して解釈されるものではない。

#### 【0104】

本実施の形態において示すように、酸化物半導体膜220に陽イオンによるプラズマ処理を施すことにより、優れた特性の酸化物半導体素子を提供することができる。当該処理は、酸化物半導体膜220に接する絶縁層208または絶縁層226、またはそれらの両方にも行うことにより、より信頼性の高い半導体素子を得ることができる。これにより、優れた特性の酸化物半導体素子を備えた半導体装置を提供することができる。

30

#### 【0105】

なお、本実施の形態は、先の実施の形態と適宜組み合わせる用いることができる。

#### 【0106】

##### (実施の形態3)

本実施の形態では、半導体装置に用いられる半導体素子の作製方法の一例について、図面を参照して説明する。

#### 【0107】

はじめに、基板500上に導電膜502を形成する(図5(A)参照)。導電膜502を形成する前に、絶縁体である基板500に対し、実施の形態1で示した第一のプラズマ処理と同様の処理を行ってもよい。当該プラズマ処理は、後に形成する酸化物半導体層508に接する基板の絶縁表面に施せばよい。必ずしもこの段階で行う必要はない。また、後に説明する下地層501を基板500と導電膜502の間に絶縁層として形成する場合は、下地層501に対して行ってもよい。なお、当該プラズマはマイクロ波により生成してもよい。このときの周波数は例えば、2.45GHzとする。

40

#### 【0108】

基板500は、絶縁表面を有する基板であればよく、例えば、ガラス基板とすることができる。ガラス基板は無アルカリガラス基板であることが好ましい。無アルカリガラス基板には、例えば、アルミノシリケートガラス、アルミノホウケイ酸ガラス、バリウムホウケイ酸ガラス等のガラス材料が用いられる。他にも、基板500として、セラミック基板、石英基板やサファイア基板等の絶縁体となる絶縁性基板、シリコン等の半導体材料となる

50



半導体基板の表面を絶縁材料で被覆したもの、金属やステンレス等の導電体でなる導電性基板の表面を絶縁材料で被覆したものをを用いることができる。また、作製工程の熱処理に耐えられるのであれば、プラスチック基板を用いることもできる。

#### 【0109】

導電膜502は、アルミニウム(Al)、銅(Cu)、モリブデン(Mo)、タングステン(W)、チタン(Ti)等の導電性材料で形成することが望ましい。形成方法としては、スパッタリング法や真空蒸着法、プラズマCVD法などがある。なお、導電膜502にアルミニウム(または銅)を用いる場合、アルミニウム単体(または銅単体)では耐熱性が低く、腐蝕しやすい等の問題があるため、耐熱性導電性材料と組み合わせて形成することが好ましい。

10

#### 【0110】

耐熱性導電性材料としては、チタン(Ti)、タンタル(Ta)、タングステン(W)、モリブデン(Mo)、クロム(Cr)、ネオジム(Nd)、スカンジウム(Sc)から選ばれた元素を含む金属、上述した元素を成分とする合金、上述した元素を組み合わせた合金、または上述した元素を成分とする窒化物などを用いることができる。これらの耐熱性導電性材料とアルミニウム(または銅)を積層させて、導電膜502を形成すればよい。

#### 【0111】

基板500上には下地層501を設けても良い。下地層501は、基板500からのアルカリ金属(Li、Cs、Na等)やアルカリ土類金属(Ca、Mg等)、その他の不純物の拡散を防止する機能を有する。つまり、下地層501を設けることより、半導体装置の信頼性向上という課題を解決することができる。下地層501は、窒化シリコン、酸化シリコンなどの各種絶縁材料を用いて、単層構造または積層構造で形成すればよい。具体的には、例えば、基板500側から窒化シリコンと酸化シリコンを順に積層した構成とすることが好適である。窒化シリコンは、不純物に対するブロッキング効果が高いためである。一方で、窒化シリコンが半導体と接する場合には、半導体素子に不具合が発生する可能性もあるため、半導体と接する材料としては、酸化シリコンを適用するのがよい。下地層501は、スパッタリング法やプラズマCVD法などにより形成できる。

20

#### 【0112】

次に、導電膜502上に選択的にレジストマスクを形成し、該レジストマスクを用いて導電膜502を選択的にエッチングすることで、ソース電極、またはドレイン電極として機能する導電層506を形成する。

30

#### 【0113】

レジストマスクは、レジスト材料の塗布、フォトマスクを用いた露光、現像、等の工程を経ることにより形成される。レジスト材料の塗布は、スピコート法などの方法を適用することができる。また、レジストマスクは、液滴吐出法やスクリーン印刷法などを用いて選択的に形成しても良い。この場合、フォトマスクを用いた露光、現像等の工程が不要になるため、生産性向上という課題を解決することが可能である。なお、レジストマスクは、導電膜502のエッチングにより導電層506が形成された後には除去される。

#### 【0114】

レジストマスクは、多階調マスクを用いて形成しても良い。ここで、多階調マスクとは、多段階の光量で露光を行うことが可能なマスクをいう。これを用いることで、一度の露光および現像工程によって、複数(代表的には2種類)の厚さのレジストマスクを形成することができる。つまり、多階調マスクを用いることで、工程数の増加を抑制することができる。

40

#### 【0115】

上述のエッチングには、ドライエッチングを用いても良いし、ウエットエッチングを用いても良い。また、後に形成されるゲート絶縁層等の被覆性を向上し、段切れを防止するために、導電層506の端部がテーパ形状となるようエッチングすると良い。例えば、テーパ角が20°以上90°未満となるような形状とすることが好ましい。ここで、「テーパ角」とは、テーパ形状を有する層を断面方向から観察した際に、当該層の側面と

50

底面とがなす鋭角をいう。

【0116】

次に、導電層506を覆うように、酸化物半導体膜503を形成する(図5(B)参照)。酸化物半導体膜503は、実施の形態1にて示した材料、方法にて形成することができる。なお、酸化物半導体膜503を形成後、島状に加工する前もしくは後に熱処理を行ってもよい。本実施の形態では、実施の形態1に示した第一の熱処理と同様の処理を行う。

【0117】

引き続き、第二のプラズマ処理と同様の処理を酸化物半導体膜503に対して行う。この処理は、酸化物半導体膜503を島状に分割する前(図5(B)参照)もしくは後(図5(C)参照)に行う。酸化物半導体膜503は、フォトリソグラフィ法などにより島状に加工され、酸化物半導体層508となる。当該プラズマはマイクロ波により生成してもよい。このときの周波数は例えば、2.45GHzとする。

【0118】

つづいて、ゲート絶縁膜として機能する絶縁層510を形成する。その後、絶縁層510に対し、第一のプラズマ処理と同様の処理を行ってもよい。つぎに、ゲート電極として機能する導電層512を形成する。これらの層は、先の実施の形態にて示した材料、方法にて形成できる。当該プラズマはマイクロ波により生成してもよい。このときの周波数は例えば、2.45GHzとする。

【0119】

次に、導電層512、絶縁層510を覆うように絶縁層514を形成する(図5(C)参照)。ここで、絶縁層514は、いわゆる層間絶縁層にあたる。絶縁層514は、酸化シリコン、酸化アルミニウム、酸化タンタル等の材料を用いて形成することができる。また、これらの材料からなる膜を積層させて形成しても良い。

【0120】

その後、各種電極や配線を形成することでトランジスタ550を具備する半導体装置が完成する(図5(D)参照)。本実施の形態においては代表的に、表示装置の画素電極として機能する導電層528を形成する例について示す(図5(D)参照)が、開示する発明の一形態はこれに限定されない。

【0121】

導電層528を形成した後は、100~500、代表的には200~400の熱処理を行う。熱処理の雰囲気は、例えば、大気雰囲気や窒素雰囲気、酸素雰囲気等とすることができる。また、熱処理時間は、0.1時間~5時間程度とすればよい。ここでは、窒素雰囲気下で250、1時間の熱処理を行うこととする。なお、該熱処理のタイミングは、絶縁層510を形成した後であれば特に限定されない。例えば、絶縁層510を形成した直後に上記の熱処理を行っても良いし、さらに他の絶縁層や導電層などを形成した後に、上記の熱処理を行っても良い。当該熱処理(第2の熱処理)と先の熱処理(第1の熱処理)とを行うことによって、半導体素子の特性を向上させ、また、特性ばらつきを低減させることができる。

【0122】

また、上記熱処理の条件を400以下とすることは、ゲート絶縁層として機能する絶縁層510の特性を変化させない(劣化させない)ために好適である。もちろん、開示する発明の一形態がこれに限定して解釈されるものではない。

【0123】

本実施の形態において示すように、酸化物半導体膜503または酸化物半導体層508に陽イオンによるプラズマ処理を施すことにより、優れた特性の酸化物半導体素子を提供することができる。当該処理は、酸化物半導体層508に接する絶縁層510にも行うことにより、より信頼性の高い半導体素子を得ることができる。また、酸化物半導体層508に接する基板500または下地層501に同様の処理を行ってもよい。これにより、優れた特性の酸化物半導体素子を備えた半導体装置を提供することができる。

【0124】

また、図6(D)に示すように、導電層506と酸化物半導体層508の積層順を逆にしてもよい。この場合、酸化物半導体層の露出している段階で第二のプラズマ処理と同様の処理を行うと好ましい。例えば、図6(A)に示すように、酸化物半導体膜503を形成した後、島状に加工する前や、図6(B)に示すように、酸化物半導体膜503を島状の酸化物半導体層508とした後や、図6(C)に示すように、導電層506を形成した後などに行うとよい。当該プラズマはマイクロ波により生成してもよい。このときの周波数は例えば、2.45GHzとする。

#### 【0125】

なお、本実施の形態は、先の実施の形態と適宜組み合わせ用いることができる。

#### 【0126】

##### (実施の形態4)

本実施の形態では、半導体装置の一例であるアクティブマトリクス基板の作製工程について、図面を用いて説明する。なお、本実施の形態で示す作製工程は、多くの部分で先の実施の形態と共通している。したがって、以下においては、重複する部分の説明は省略し、異なる点について詳細に説明する。なお、以下の説明において、図7、図8は断面図を示しており、図9は平面図を示している。また、図7および図8のA1-A2、B1-B2はそれぞれ、図9のA1-A2、B1-B2に対応する領域を示す。また、本実施の形態においてA1-A2に示す半導体素子は、実施の形態2において示した半導体素子と類似する。

#### 【0127】

はじめに、基板300上に配線または電極(ゲート電極302、容量配線304、第1の端子306)を形成する(図7(A)参照)。具体的には、基板上に導電層を形成した後、レジストマスクを用いたエッチングにより各種配線、各種電極を形成する。本実施の形態においては、先の実施の形態に示した方法と同様の方法で各種配線、各種電極を形成することができるから、詳細については先の実施の形態(図1(A)、図1(B)、図3(A)、図3(B)の説明部分など)を参照すればよい。なお、上記において、電極と配線との区別は便宜的なものに過ぎないから、その機能は電極または配線の称呼に限定して解釈されない。例えば、ゲート電極はゲート配線を指す場合がある。

#### 【0128】

なお、容量配線304、第1の端子306については、ゲート電極302と同一の材料および作製方法を用いて、同時に形成することができる。このため、例えば、ゲート電極302と第1の端子306とを電氣的に接続する構成とすることが可能である。ゲート電極302の材料や作製方法の詳細については、先の実施の形態を参照することができる。

#### 【0129】

次に、ゲート電極302上にゲート絶縁層308を形成し、第1の端子306を露出させるようにゲート絶縁層308を選択的にエッチングして、コンタクトホールを形成する(図7(B)参照)。ゲート絶縁層308についての詳細は、先の実施の形態(図1(C)、図3(C)の説明部分など)を参照すればよい。エッチング処理については特に限定されず、ウェットエッチングを用いても良いし、ドライエッチングを用いても良い。

#### 【0130】

次に、ゲート絶縁層308や第1の端子306を覆う導電膜を形成した後、該導電膜を選択的にエッチングすることでソース電極310、ドレイン電極312、接続電極314、第2の端子316を形成する(図7(C)参照)。なお、上記において、電極と配線との区別は便宜的なものに過ぎないから、その機能は電極または配線の称呼に限定して解釈されない。例えば、ソース電極はソース配線と同一物を指す場合がある。また、ソース電極及びドレイン電極はトランジスタの構造や動作条件によって入れ替わることがある。

#### 【0131】

上記導電膜の材料や作製方法、エッチング処理などについては、先の実施の形態(図2(A)、図2(B)、図3(D)、図3(E)の説明部分など)を参照すればよい。なお、エッチング処理においてドライエッチングを用いる場合には、ウェットエッチングを用い

10

20

30

40

50

る場合と比較して配線構造の微細化が可能になるというメリットがある。接続電極 314 は、ゲート絶縁層 308 に形成されたコンタクトホールを介して第 1 の端子 306 と直接接続する構成とすることができる。また、第 2 の端子 316 は、ソース電極 310 と電氣的に接続する構成とすることができる。

#### 【0132】

次に、少なくともソース電極 310 およびドレイン電極 312 を覆うように酸化物半導体膜を形成した後、該酸化物半導体膜を選択的にエッチングして酸化物半導体層 318 を形成する（図 8（A）参照）。ここで、酸化物半導体層 318 は、ソース電極 310 およびドレイン電極 312 の一部と接している。酸化物半導体層 318 の詳細についても、先の実施の形態（図 1（D）、図 1（E）、図 4（A）、図 4（B）の説明部分など）を参照することができる。

10

#### 【0133】

つづいて、実施の形態 1 で示した第二のプラズマ処理と同様の処理を行う。当該プラズマ処理は、酸化物半導体層 318 の少なくとも一部が露出している段階で行えばよく、必ずしもこの段階で行う必要はない。なお、当該処理に加え、酸化物半導体層 318 に隣接する絶縁層の少なくとも一部が露出している段階で、先の実施の形態の第一のプラズマ処理と同様の処理を行ってもよい。

#### 【0134】

酸化物半導体層 318 を形成した後は、 $100 \sim 500$ 、代表的には  $200 \sim 400$  の熱処理を行う。熱処理の雰囲気は、例えば、大気雰囲気や窒素雰囲気、酸素雰囲気等とすることができる。また、熱処理時間は、0.1 時間～5 時間程度とすればよい。ここでは、大気雰囲気下で  $350$ 、1 時間の熱処理を行うこととする。なお、該熱処理のタイミングは、酸化物半導体層 318 を形成した後、層間絶縁層にあたる絶縁層を形成する前であれば特に限定されない。例えば、酸化物半導体層 318 を形成した直後に上記の熱処理を行っても良い。当該熱処理（第 1 の熱処理）と後の熱処理（第 2 の熱処理）とを行うことで、半導体素子の特性を向上させ、また、特性ばらつきを低減させることができる。

20

#### 【0135】

なお、上記熱処理の条件を  $400$  以下とすることは、ゲート絶縁層 308 の特性を変化させない（劣化させない）ために好適である。もちろん、開示する発明の一形態がこれに限定して解釈されるものではない。

30

#### 【0136】

次に、ソース電極 310、ドレイン電極 312、酸化物半導体層 318 などを覆うように絶縁層 320 を形成し、当該絶縁層 320 を選択的にエッチングしてドレイン電極 312、接続電極 314、および第 2 の端子 316 に達するコンタクトホールを形成する（図 8（B）参照）。絶縁層 320 は、酸化シリコン、酸化アルミニウム、酸化タンタル等の材料を用いて形成することができる。また、これらの材料からなる膜を積層させて形成しても良い。

#### 【0137】

絶縁層 320 中の水素の濃度が  $1 \times 10^{21} \text{ atoms/cm}^3$  以下（好ましくは、 $5 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$  以下）であると好ましい。また、絶縁層 320 中の窒素の濃度が  $1 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$  以下であると好ましい。なお、上記濃度は、絶縁層 320 中での平均値を示している。

40

#### 【0138】

上述のような条件を満たす絶縁層 320 のより具体的な一例として、スパッタリング法により形成された酸化シリコン膜を挙げることができる。スパッタリング法を用いる場合には、プラズマ CVD 法を用いる場合と比較して、膜中の水素濃度の低減が容易になるためである。もちろん、上述の条件を満たすのであれば、プラズマ CVD 法を含む他の方法により形成しても良い。例えば、プラズマ CVD 法にて絶縁層 320 を形成後、実施の形態 1 に示した絶縁層 108 に対して行ったのと同様のプラズマ処理を当該絶縁層 320 に施

50

して、膜中の水素濃度を下げることができる。絶縁層 320 のその他の条件については、特に限定されない。例えば、絶縁層 320 の厚さについては、実現可能な範囲であればどのような値をとっても良い。

【0139】

次に、ドレイン電極 312 と電氣的に接続する透明導電層 322、接続電極 314 と電氣的に接続する透明導電層 324 および第 2 の端子 316 と電氣的に接続する透明導電層 326 を形成する（図 8（C）、図 9 参照）。

【0140】

透明導電層 322 は画素電極として機能し、透明導電層 324 および透明導電層 326 は、FPC（Flexible printed circuits）との接続に用いられる電極または配線として機能する。より具体的には、接続電極 314 上に形成された透明導電層 324 をゲート配線の入力端子として機能する接続用の端子電極として用い、第 2 の端子 316 上に形成された透明導電層 326 をソース配線の入力端子として機能する接続用の端子電極として用いることができる。

【0141】

また、容量配線 304、ゲート絶縁層 308、および透明導電層 322 により保持容量を形成することができる。

【0142】

透明導電層 322、透明導電層 324、透明導電層 326 は、酸化インジウム（ $\text{In}_2\text{O}_3$ ）、インジウム錫酸化物（ $\text{In}_2\text{O}_3$   $\text{SnO}_2$ 、ITO とも称す）、酸化インジウム酸化亜鉛合金（ $\text{In}_2\text{O}_3$   $\text{ZnO}$ ）等の材料を用いて形成することができる。例えば、上記材料を含有する膜をスパッタリング法や真空蒸着法等を用いて形成した後、エッチングにより不要な部分を除去することで形成すれば良い。

【0143】

透明導電層 322、透明導電層 324、透明導電層 326 を形成した後は、100 ~ 500、代表的には 200 ~ 400 の熱処理を行う。熱処理の雰囲気は、例えば、大気雰囲気や窒素雰囲気、酸素雰囲気等とすることができる。また、熱処理時間は、0.1 時間 ~ 5 時間程度とすればよい。ここでは、大気雰囲気下で 350、1 時間の熱処理を行うこととする。なお、該熱処理のタイミングは、絶縁層 320 を形成した後であれば特に限定されない。例えば、絶縁層 320 を形成した直後に上記の熱処理を行っても良いし、絶縁層 320 にコンタクトホールを形成した後に熱処理を行っても良い。さらに他の絶縁層や導電層などを形成した後に、上記の熱処理を行っても良い。当該熱処理（第 2 の熱処理）と先の熱処理（第 1 の熱処理）とを行うことによって、半導体素子の特性を向上させ、また、特性ばらつきを低減させることができる。

【0144】

なお、第 2 の熱処理の効果は、上述のものに留まらない。例えば、第 2 の熱処理は、絶縁層 320 の欠陥を修復するという効果をも有している。絶縁層 320 は比較的低温で形成されるため、膜中には欠陥が存在しており、そのまま使用した場合には素子特性に悪影響を及ぼすおそれがある。このような絶縁層 320 中の欠陥を修復するという観点からも、上述の熱処理は重要な役割を果たすと言える。

【0145】

また、上記熱処理の条件を 400 以下とすることは、ゲート絶縁層 308 の特性を変化させない（劣化させない）ために好適である。もちろん、開示する発明の一形態がこれに限定して解釈されるものではない。

【0146】

以上の工程により、ボトムゲート型のトランジスタ 350 や保持容量等の素子を有するアクティブマトリクス基板を完成させることができる。例えば、これを用いてアクティブマトリクス型の液晶表示装置を作製する場合には、アクティブマトリクス基板と、対向電極が設けられた対向基板との間に液晶層を設け、アクティブマトリクス基板と対向基板とを固定すれば良い。

10

20

30

40

50

## 【0147】

本実施の形態において示すように、酸化物半導体層318に陽イオンによるプラズマ処理を施すことにより、優れた特性の酸化物半導体素子を提供することができる。当該処理は、酸化物半導体層318に接する絶縁層308または絶縁層320、またはそれらの両方にも行うことにより、より信頼性の高い半導体素子を得ることができる。これにより、優れた特性の酸化物半導体素子を備えた半導体装置を提供することができる。

## 【0148】

なお、本実施の形態においては、実施の形態2に示す方法を用いてトランジスタ350やその他の構成を形成する場合について説明しているが、開示される発明はこれに限定されない。実施の形態1などに示す方法を用いても良い。なお、本実施の形態は、先の実施の形態と適宜組み合わせ用いることができる。

10

## 【0149】

## (実施の形態5)

本実施の形態では、薄膜トランジスタを作製し、該薄膜トランジスタを画素部や駆動回路に用いて表示機能を有する半導体装置(表示装置ともいう)を作製する例について説明する。また、駆動回路の一部または全体を、画素部と同じ基板上に一体形成し、システムオンパネルを形成することができる。

## 【0150】

表示装置は表示素子を含む。表示素子としては液晶素子(液晶表示素子ともいう)や、発光素子(発光表示素子ともいう)などを用いることができる。発光素子は、電流または電圧によって輝度が制御される素子をその範疇に含んでおり、具体的には無機EL(Electro Luminescence)、有機EL等が含まれる。また、電子インクなど、電気的作用によりコントラストが変化する表示媒体を適用しても良い。

20

## 【0151】

また、表示装置は、表示素子が封止された状態にあるパネルと、該パネルにコントローラを含むIC等を実装した状態にあるモジュールとを含む。さらに、表示装置を構成する素子基板は、電流を表示素子に供給するための手段を各画素に備える。素子基板は、具体的には、表示素子の画素電極のみが形成された状態であっても良いし、画素電極となる導電膜の成膜後、エッチング前の状態であっても良い。

## 【0152】

30

なお、本明細書中における表示装置とは、画像表示デバイス、表示デバイス、光源(照明装置含む)などを指す。また、FPC(Flexible printed circuit)、TAB(Tape Automated Bonding)テープ、TCP(Tape Carrier Package)などのコネクタが取り付けられたモジュール、TABテープやTCPの先にプリント配線板が設けられたモジュール、表示素子にCOG(Chip On Glass)方式によりIC(集積回路)が直接実装されたモジュールなども全て表示装置に含むものとする。

## 【0153】

以下、本実施の形態では、液晶表示装置の一例について示す。図10は、第1の基板4001上に形成された薄膜トランジスタ4010、薄膜トランジスタ4011および液晶素子4013を、第2の基板4006とシール材4005によって封止した、パネルの平面図および断面図である。ここで、図10(A1)および図10(A2)は平面図を示し、図10(B)は、図10(A1)および図10(A2)のM-Nにおける断面図に相当する。

40

## 【0154】

第1の基板4001上に設けられた画素部4002および走査線駆動回路4004を囲むようにして、シール材4005が設けられている。また、画素部4002と走査線駆動回路4004の上に、第2の基板4006が設けられている。つまり、画素部4002と走査線駆動回路4004は、第1の基板4001とシール材4005と第2の基板4006とによって、液晶層4008と共に封止されている。また、第1の基板4001上のシー

50

ル材 4005 によって囲まれる領域とは異なる領域に、別途用意された基板上に単結晶半導体膜または多結晶半導体膜で形成された信号線駆動回路 4003 が実装されている。

【0155】

なお、別途形成した駆動回路の接続方法は、特に限定されるものではなく、COG法、ワイヤボンディング法、TAB法などを適宜用いることができる。図10(A1)は、COG法により信号線駆動回路 4003 を実装する例であり、図10(A2)は、TAB法により信号線駆動回路 4003 を実装する例である。

【0156】

また、第1の基板 4001 上に設けられた画素部 4002 と走査線駆動回路 4004 は、薄膜トランジスタを複数有しており、図10(B)では、画素部 4002 に含まれる薄膜トランジスタ 4010 と、走査線駆動回路 4004 に含まれる薄膜トランジスタ 4011 を例示している。薄膜トランジスタ 4010、薄膜トランジスタ 4011 上には絶縁層 4020、絶縁層 4021 が設けられている。

10

【0157】

薄膜トランジスタ 4010、薄膜トランジスタ 4011 には、先の実施の形態において示したトランジスタなどを適用することができる。なお、本実施の形態において、薄膜トランジスタ 4010、薄膜トランジスタ 4011 は n チャンネル型薄膜トランジスタとした。

【0158】

また、液晶素子 4013 が有する画素電極層 4030 は、薄膜トランジスタ 4010 と電氣的に接続されている。そして、液晶素子 4013 の対向電極層 4031 は第2の基板 4006 上に形成されている。上記の画素電極層 4030 と対向電極層 4031、液晶層 4008 により、液晶素子 4013 が形成される。なお、画素電極層 4030、対向電極層 4031 には、それぞれ配向膜として機能する絶縁層 4032、絶縁層 4033 が設けられ、画素電極層 4030 および対向電極層 4031 は、これらを介して液晶層 4008 を挟持している。

20

【0159】

なお、第1の基板 4001、第2の基板 4006 としては、ガラス、金属（代表的にはステンレス）、セラミックス、プラスチックなどを用いることができる。プラスチックとしては、FRP (Fiber glass - Reinforced Plastics) 基板、PVF (ポリビニルフルオライド) フィルム、ポリエステルフィルム、アクリル樹脂フィルムなどを用いることができる。また、アルミニウム箔を PVF フィルムやポリエステルフィルムで挟んだ構造のシートを用いることもできる。

30

【0160】

また、画素電極層 4030 と対向電極層 4031 との間の距離（セルギャップ）を制御するために、柱状のスペーサ 4035 が設けられている。柱状のスペーサ 4035 は絶縁膜を選択的にエッチングすることで得られる。なお、柱状のスペーサに代えて球状のスペーサを用いても良い。また、対向電極層 4031 は、薄膜トランジスタ 4010 と同一基板上に設けられる共通電位線と電氣的に接続される。例えば、一对の基板間に配置される導電性粒子を介して、対向電極層 4031 と共通電位線とを電氣的に接続することができる。なお、導電性粒子はシール材 4005 に含有させると良い。

40

【0161】

また、横電界方式を採用する場合、配向膜が不要なブルー相を示す液晶を用いてもよい。ブルー相は液晶相の一つであり、昇温によってコレステリック相から等方相へ転移する直前に発現する相である。ブルー相は狭い温度範囲でしか発現しないため、5重量%以上のカイラル剤を混合させた液晶組成物を用いると良い。これにより、発現する温度範囲を広げることができる。ブルー相を示す液晶とカイラル剤とを含む液晶組成物は、応答時間が  $10\mu s \sim 100\mu s$  と短く、光学的等方性を有するため配向処理が不要であり、視野角依存性が小さい、といった特徴を有している。

【0162】

なお、本実施の形態では透過型液晶表示装置の一例を示しているが、これに限定されず、

50

反射型液晶表示装置としても良いし、半透過型液晶表示装置としても良い。

【0163】

また、本実施の形態で示す液晶表示装置では、基板の外側（視認側）に偏光板を設け、内側に着色層、表示素子に用いる電極層を順に設ける例を示す（図11参照）が、偏光板は基板の内側に設けてもよい。また、偏光板と着色層の積層構造も本実施の形態に限定されず、偏光板や着色層の材料、作製条件などに合わせて適宜変更することができる。また、ブラックマトリクスとして機能する遮光膜を設けてもよい。

【0164】

また、本実施の形態では、薄膜トランジスタの表面凹凸を低減するため、先の実施の形態で得られたトランジスタを絶縁層4021で覆う構成を採用している。絶縁層4021としては、ポリイミド、アクリル樹脂、ベンゾシクロブテン樹脂、ポリアミド、エポキシ樹脂等の、耐熱性を有する有機材料を用いることができる。また上記有機材料の他に、低誘電率材料（low-k材料）、シロキサン系樹脂、PSG（リンガラス）、BPSG（リンボロンガラス）等を用いることができる。なお、これらの材料で形成される絶縁膜を複数積層させて、絶縁層4021を形成してもよい。

10

【0165】

ここで、シロキサン系樹脂とは、シロキサン系材料を出発材料として形成されたSi-O-Si結合を含む樹脂に相当する。置換基としては、有機基（例えばアルキル基やアリール基）やフルオロ基を用いても良い。また、有機基はフルオロ基を有していても良い。

【0166】

絶縁層4021の形成法は、特に限定されず、その材料に応じて、スパッタリング法、SOG法、スピンコート、ディップ、スプレー塗布、液滴吐出法（インクジェット法、スクリーン印刷、オフセット印刷等）等の成膜方法や、ドクターナイフ、ロールコーター、カーテンコーター、ナイフコーター等の器具を用いることができる。

20

【0167】

画素電極層4030、対向電極層4031は、酸化タングステンを含むインジウム酸化物、酸化タングステンを含むインジウム亜鉛酸化物、酸化チタンを含むインジウム酸化物、酸化チタンを含むインジウム錫酸化物、インジウム錫酸化物（ITO）、インジウム亜鉛酸化物、酸化ケイ素を添加したインジウム錫酸化物などの透光性を有する導電性材料を用いることができる。

30

【0168】

また、画素電極層4030、対向電極層4031に、導電性高分子（導電性ポリマーともいう）を含む導電性組成物を用いても良い。導電性組成物を用いて形成した画素電極は、シート抵抗が $1.0 \times 10^4 \text{ } \Omega/\text{sq}$ 以下、波長550nmにおける透光率が70%以上であることが好ましい。また、導電性組成物に含まれる導電性高分子の抵抗率は $0.1 \text{ } \Omega/\text{cm}$ 以下であることが好ましい。

【0169】

導電性高分子としては、いわゆる電子共役系導電性高分子を用いることができる。例えば、ポリアニリンまたはその誘導体、ポリピロールまたはその誘導体、ポリチオフェンまたはその誘導体、若しくはアニリン、ピロール、およびチオフェン2種以上からなる共重合体若しくはその誘導体などがあげられる。

40

【0170】

信号線駆動回路4003、走査線駆動回路4004、画素部4002などに与えられる各種信号は、FPC4018から供給されている。

【0171】

また、接続端子電極4015は、液晶素子4013が有する画素電極層4030と同じ導電膜から形成され、端子電極4016は、薄膜トランジスタ4010、薄膜トランジスタ4011のソース電極層およびドレイン電極層と同じ導電膜で形成されている。

【0172】

接続端子電極4015は、FPC4018が有する端子と、異方性導電膜4019を介し

50



て電氣的に接続されている。

【 0 1 7 3 】

なお、図 1 0 においては、信号線駆動回路 4 0 0 3 を別途形成し、第 1 の基板 4 0 0 1 に実装する例を示しているが、本実施の形態はこの構成に限定されない。走査線駆動回路を別途形成して実装しても良いし、信号線駆動回路の一部または走査線駆動回路の一部のみを別途形成して実装しても良い。

【 0 1 7 4 】

図 1 1 は、半導体装置の一形態に相当する液晶表示モジュールを、酸化物半導体素子を形成した基板 2 6 0 0 を用いて構成する一例を示している。

【 0 1 7 5 】

図 1 1 では、酸化物半導体素子を形成した基板 2 6 0 0 と対向基板 2 6 0 1 がシール材 2 6 0 2 により固着され、その間に酸化物半導体素子等を含む素子層 2 6 0 3、配向膜や液晶層を含む液晶層 2 6 0 4、着色層 2 6 0 5、偏光板 2 6 0 6 などが設けられることにより表示領域が形成されている。着色層 2 6 0 5、偏光板 2 6 0 6 はカラー表示を行う場合に必要であり、R G B 方式の場合には、赤、緑、青の各色に対応した着色層が、各画素に対応して設けられている。酸化物半導体素子を形成した基板 2 6 0 0 と対向基板 2 6 0 1 の外側には偏光板 2 6 0 6、偏光板 2 6 0 7、拡散板 2 6 1 3 が配設されている。また、光源は冷陰極管 2 6 1 0 と反射板 2 6 1 1 により構成されている。回路基板 2 6 1 2 は、フレキシブル配線基板 2 6 0 9 により酸化物半導体素子を形成した基板 2 6 0 0 の配線回路部 2 6 0 8 と接続され、これによって、コントロール回路や電源回路などの外部回路が液晶モジュールに組みこまれる。また、偏光板と液晶層との間には、位相差板を設けても良い。

【 0 1 7 6 】

液晶の駆動方式としては、T N ( T w i s t e d N e m a t i c ) モード、I P S ( I n - P l a n e - S w i t c h i n g ) モード、F F S ( F r i n g e F i e l d S w i t c h i n g ) モード、M V A ( M u l t i - d o m a i n V e r t i c a l A l i g n m e n t ) モード、P V A ( P a t t e r n e d V e r t i c a l A l i g n m e n t ) モード、A S M ( A x i a l l y S y m m e t r i c a l i g n e d M i c r o - c e l l ) モード、O C B ( O p t i c a l C o m p e n s a t e d B i r e f r i n g e n c e ) モード、F L C ( F e r r o e l e c t r i c L i q u i d C r y s t a l ) モード、A F L C ( A n t i F e r r o e l e c t r i c L i q u i d C r y s t a l ) モードなどを用いることができる。

【 0 1 7 7 】

以上により、高性能な液晶表示装置を作製することができる。本実施の形態は、先の実施の形態と適宜組み合わせる用いることができる。

【 0 1 7 8 】

( 実施の形態 6 )

本実施の形態では、図 1 2 を参照して半導体装置の一例であるアクティブマトリクス型の電子ペーパーについて説明する。半導体装置に用いられる薄膜トランジスタ 6 5 0 は、先の実施の形態において示したトランジスタなどと同様に作製することができる。

【 0 1 7 9 】

図 1 2 に示す電子ペーパーは、ツイストボール表示方式を用いたものの一例である。ツイストボール表示方式とは、白と黒に塗り分けられた球形粒子を第 1 の電極層及び第 2 の電極層の間に配置し、第 1 の電極層及び第 2 の電極層に電位差を生じさせることによって、球形粒子の向きを制御して、表示を行う方法である。

【 0 1 8 0 】

薄膜トランジスタ 6 5 0 のソース電極層またはドレイン電極層は、絶縁層に形成されたコンタクトホールを介して、第 1 の電極層 6 6 0 と電氣的に接続している。基板 6 0 2 には第 2 の電極層 6 7 0 が設けられており、第 1 の電極層 6 6 0 と第 2 の電極層 6 7 0 との間には、黒色領域 6 8 0 a 及び白色領域 6 8 0 b を有する球形粒子 6 8 0 が設けられている

10

20

30

40

50

。また、球形粒子 680 の周囲は樹脂等の充填材 682 で満たされている（図 12 参照）。図 12 において、第 1 の電極層 660 が画素電極に相当し、第 2 の電極層 670 が共通電極に相当する。第 2 の電極層 670 は、薄膜トランジスタ 650 と同一基板上に設けられる共通電位線と電氣的に接続される。

#### 【0181】

ツイストボールの代わりに、電気泳動表示素子を用いることも可能である。その場合、例えば、透明な液体と、正に帯電した白い微粒子と負に帯電した黒い微粒子とを封入した直径  $10\ \mu\text{m} \sim 200\ \mu\text{m}$  程度のマイクロカプセルを用いると良い。第 1 の電極層と第 2 の電極層によって電場が与えられると、白い微粒子と黒い微粒子が互いに逆方向に移動し、白または黒が表示される。電気泳動表示素子は液晶表示素子に比べて反射率が高いため、補助ライトが不要であり、また、明るさが十分ではない場所であっても表示部を認識することが可能である。また、表示部に電源が供給されない場合であっても、一度表示した像を保持することが可能であるという利点も有している。

10

#### 【0182】

以上、開示する発明の一形態により高性能な電子ペーパーを作製することができる。なお、本実施の形態は、先の実施の形態と適宜組み合わせる用いることができる。

#### 【0183】

##### （実施の形態 7）

本実施の形態では、半導体装置の一例である発光表示装置について説明する。ここでは、表示素子としてエレクトロルミネッセンスを利用する発光素子を用いる場合について示す。なお、エレクトロルミネッセンスを利用する発光素子は、発光材料が有機化合物であるか、無機化合物であるかによって区別され、一般的に、前者は有機 EL 素子、後者は無機 EL 素子と呼ばれている。

20

#### 【0184】

有機 EL 素子は、発光素子に電圧を印加することにより、一对の電極から電子および正孔がそれぞれ発光性の有機化合物を含む層に注入される。そして、それらキャリア（電子および正孔）が再結合することにより発光する。このようなメカニズムから、該発光素子は、電流励起型の発光素子と呼ばれる。

#### 【0185】

無機 EL 素子は、その素子構成により、分散型無機 EL 素子と薄膜型無機 EL 素子とに分類される。分散型無機 EL 素子は、発光材料の粒子をバインダ中に分散させた発光層を有するものであり、発光メカニズムはドナー準位とアクセプター準位を利用するもの（ドナー - アクセプター再結合型発光）である。薄膜型無機 EL 素子は、発光層を誘電体層で挟み込み、さらにそれを電極で挟んだ構造であり、発光メカニズムは金属イオンの内殻電子遷移を利用するもの（局在型発光）である。なお、ここでは、発光素子として有機 EL 素子を用いて説明する。

30

#### 【0186】

発光素子の構成について、図 13 を用いて説明する。ここでは、駆動用トランジスタが n 型の場合を例に挙げて、画素の断面構造について説明する。図 13（A）、図 13（B）、図 13（C）の半導体装置に用いられるトランジスタ 701、トランジスタ 711、トランジスタ 721 は、先の実施の形態で示すトランジスタと同様に作製することができる。

40

#### 【0187】

発光素子は、光を取り出すために、陽極または陰極の少なくとも一方が透明になっている。ここで、透明とは、少なくとも発光波長における透過率が十分に高いことを意味する。光の取り出し方式としては、基板上に薄膜トランジスタおよび発光素子を形成し、該基板とは反対側の面から光を取り出す上面射出方式（上面取り出し方式）や、基板側の面から光を取り出す下面射出方式（下面取り出し方式）、基板側およびその反対側の面から光を取り出す両面射出方式（両面取り出し方式）などがある。

#### 【0188】

50

上面射出方式の発光素子について図 1 3 ( A ) を参照して説明する。

【 0 1 8 9 】

図 1 3 ( A ) は、発光素子 7 0 2 から発せられる光が陽極 7 0 5 側に抜ける場合の、画素の断面図を示している。ここでは、発光素子 7 0 2 の陰極 7 0 3 と駆動用トランジスタであるトランジスタ 7 0 1 が電氣的に接続されており、陰極 7 0 3 上に発光層 7 0 4、陽極 7 0 5 が順に積層されている。陰極 7 0 3 としては、仕事関数が小さく、光を反射する導電膜を用いることができる。例えば、Ca、Al、MgAg、AlLi 等の材料を用いて陰極 7 0 3 を形成することが望ましい。発光層 7 0 4 は、単層で構成されていても、複数の層が積層されるように構成されていても良い。複数の層で構成されている場合、陰極 7 0 3 上に電子注入層、電子輸送層、発光層、ホール輸送層、ホール注入層の順に積層すると良いが、もちろん、これらの層を全て設ける必要はないし、異なる積層構造としてもよい。陽極 7 0 5 は光を透過する導電性材料を用いて形成する。例えば、酸化タングステンを含むインジウム酸化物、酸化タングステンを含むインジウム亜鉛酸化物、酸化チタンを含むインジウム酸化物、酸化チタンを含むインジウム錫酸化物、インジウム錫酸化物 (ITO)、インジウム亜鉛酸化物、酸化ケイ素を添加したインジウム錫酸化物などの透光性を有する導電性材料を用いれば良い。

10

【 0 1 9 0 】

陰極 7 0 3 および陽極 7 0 5 で発光層 7 0 4 を挟んだ構造を、発光素子 7 0 2 と呼ぶことができる。図 1 3 ( A ) に示した画素の場合、発光素子 7 0 2 から発せられる光は、矢印で示すように陽極 7 0 5 側に射出される。

20

【 0 1 9 1 】

次に、下面射出方式の発光素子について図 1 3 ( B ) を参照して説明する。

【 0 1 9 2 】

図 1 3 ( B ) は、発光素子 7 1 2 から発せられる光が陰極 7 1 3 側に抜ける場合の、画素の断面図を示している。ここでは、駆動用のトランジスタ 7 1 1 と電氣的に接続された透光性を有する導電膜 7 1 7 上に、発光素子 7 1 2 の陰極 7 1 3 が形成されており、陰極 7 1 3 上に発光層 7 1 4、陽極 7 1 5 が順に積層されている。なお、陽極 7 1 5 が透光性を有する場合、該陽極 7 1 5 上を覆うように遮蔽膜 7 1 6 を設けても良い。陰極 7 1 3 は、図 1 3 ( A ) の場合と同様に、仕事関数が小さい導電性材料を用いることができる。ただしその膜厚は、光を透過する程度 (好ましくは、5 nm ~ 30 nm 程度) とする。例えば 20 nm 程度の膜厚を有するアルミニウム膜を、陰極 7 1 3 として用いることができる。発光層 7 1 4 は、図 1 3 ( A ) と同様に、単層で構成されていても、複数の層が積層されるように構成されていても良い。陽極 7 1 5 は、光を透過する必要はないが、図 1 3 ( A ) と同様に、透光性を有する導電性材料を用いて形成しても良い。遮蔽膜 7 1 6 には、光を反射する金属等を用いることができるが、これに限定されない。例えば、黒の顔料を添加した樹脂等を用いることもできる。

30

【 0 1 9 3 】

陰極 7 1 3 および陽極 7 1 5 で、発光層 7 1 4 を挟んだ構造を発光素子 7 1 2 と呼ぶことができる。図 1 3 ( B ) に示した画素の場合、発光素子 7 1 2 から発せられる光は、矢印で示すように陰極 7 1 3 側に射出される。

40

【 0 1 9 4 】

次に、両面射出方式の発光素子について、図 1 3 ( C ) を参照して説明する。

【 0 1 9 5 】

図 1 3 ( C ) は、駆動用のトランジスタ 7 2 1 と電氣的に接続された透光性を有する導電膜 7 2 7 上に、発光素子 7 2 2 の陰極 7 2 3 が形成されており、陰極 7 2 3 上に発光層 7 2 4、陽極 7 2 5 が順に積層されている。陰極 7 2 3 は、図 1 3 ( A ) の場合と同様に、仕事関数が小さい導電性材料を用いることができる。ただしその膜厚は、光を透過する程度とする。例えば 20 nm の膜厚を有する Al を、陰極 7 2 3 として用いることができる。発光層 7 2 4 は、図 1 3 ( A ) と同様に、単層で構成されていても、複数の層が積層されるように構成されていても良い。陽極 7 2 5 は、図 1 3 ( A ) と同様に、透光性を有す

50

る導電性材料を用いて形成することができる。

【0196】

陰極723と、発光層724と、陽極725とが重なった構造を発光素子722と呼ぶことができる。図13(C)に示した画素の場合、発光素子722から発せられる光は、矢印で示すように陽極725側と陰極723側の両方に射出される。

【0197】

なお、ここでは、発光素子として有機EL素子を用いる場合について述べたが、発光素子として無機EL素子を用いることも可能である。また、ここでは、発光素子の駆動を制御する薄膜トランジスタ(駆動用トランジスタ)と発光素子が電氣的に接続されている例を示したが、駆動用トランジスタと発光素子との間に電流制御用トランジスタなどが接続されていてもよい。

10

【0198】

なお、本実施の形態で示す半導体装置は、図13に示した構成に限定されるものではなく、各種の変形が可能である。

【0199】

次に、発光表示パネル(発光パネルともいう)の外観及び断面について、図14を参照して説明する。図14は、第1の基板4501上に形成された薄膜トランジスタ4509、薄膜トランジスタ4510および発光素子4511を、第2の基板4506とシール材4505によって封止したパネルの平面図および断面図である。ここで、図14(A)は平面図を示し、図14(B)は、図14(A)のH-Iにおける断面図に相当する。

20

【0200】

第1の基板4501上に設けられた画素部4502、信号線駆動回路4503a、4503b、走査線駆動回路4504a、走査線駆動回路4504bを囲むようにして、シール材4505が設けられている。また、画素部4502、信号線駆動回路4503a、信号線駆動回路4503b、走査線駆動回路4504a、走査線駆動回路4504bの上に第2の基板4506が設けられている。つまり、画素部4502、信号線駆動回路4503a、信号線駆動回路4503b、走査線駆動回路4504a、走査線駆動回路4504bは、第1の基板4501とシール材4505と第2の基板4506とによって、充填材4507と共に密封されている。このように、気密性が高く、脱ガスの少ない保護フィルム(貼り合わせフィルム、紫外線硬化樹脂フィルム等)やカバー材などを用いてパッケージング(封入)することが好ましい。

30

【0201】

また、第1の基板4501上に設けられた画素部4502、信号線駆動回路4503a、信号線駆動回路4503b、走査線駆動回路4504a、走査線駆動回路4504bは、薄膜トランジスタを複数有しており、図14(B)では、画素部4502に含まれる薄膜トランジスタ4510と、信号線駆動回路4503aに含まれる薄膜トランジスタ4509を例示している。

【0202】

薄膜トランジスタ4509、薄膜トランジスタ4510は、先の実施の形態において示したトランジスタを適用することができる。なお、本実施の形態において、薄膜トランジスタ4509、薄膜トランジスタ4510はnチャネル型の薄膜トランジスタである。

40

【0203】

また、4511は発光素子に相当し、発光素子4511が有する画素電極である第1の電極層4517は、薄膜トランジスタ4510のソース電極層またはドレイン電極層と電氣的に接続されている。なお発光素子4511の構成は、第1の電極層4517、電界発光層4512、第2の電極層4513の積層構造であるが、本実施の形態に示した構成に限定されない。発光素子4511から取り出す光の方向などに合わせて、発光素子4511の構成は適宜変えることができる。

【0204】

隔壁4520は、有機樹脂膜、無機絶縁膜、有機ポリシロキサンなどを用いて形成する。

50

特に、感光性を有する材料を用いて第1の電極層4517上に開口部を形成し、その開口部の側壁が、連続した曲率を持つ傾斜面となるようにすることが好ましい。

【0205】

電界発光層4512は、単層で構成されていても、複数の層が積層されるように構成されていても良い。

【0206】

発光素子4511に酸素、水素、水分、二酸化炭素等が侵入しないように、第2の電極層4513および隔壁4520上に保護膜を形成してもよい。保護膜としては、窒化珪素膜、窒化酸化珪素膜、DLC(Diamond Like Carbon)膜等を形成することができる。

10

【0207】

また、信号線駆動回路4503a、信号線駆動回路4503b、走査線駆動回路4504a、走査線駆動回路4504b、画素部4502などに与えられる各種信号は、FPC4518a、FPC4518bから供給されている。

【0208】

本実施の形態では、接続端子電極4515が、発光素子4511の第1の電極層4517と同じ導電膜から形成され、端子電極4516は、薄膜トランジスタ4509や薄膜トランジスタ4510のソース電極層及びドレイン電極層と同じ導電膜から形成される例について示している。

20

【0209】

接続端子電極4515は、FPC4518aが有する端子と、異方性導電膜4519を介して電氣的に接続されている。

【0210】

発光素子4511からの光の取り出し方向に位置する基板は、透光性を有している必要がある。透光性を有する基板としては、ガラス板、プラスチック板、ポリエステルフィルム、アクリルフィルムなどがある。

【0211】

充填材4507としては、窒素やアルゴンなどの不活性な気体の他に、紫外線硬化樹脂や熱硬化樹脂などを用いることができる。例えば、PVC(ポリビニルクロライド)、アクリル、ポリイミド、エポキシ樹脂、シリコン樹脂、PVB(ポリビニルブチラル)、EVA(エチレンビニルアセテート)などを用いることができる。本実施の形態では、充填材として窒素を用いる例について示している。

30

【0212】

必要であれば、発光素子の射出面に偏光板、円偏光板(楕円偏光板を含む)、位相差板(1/4板、1/2板)、カラーフィルタなどの光学フィルムを設けてもよい。また、表面には反射防止処理を施しても良い。例えば、表面の凹凸により反射光を拡散し、映り込みを低減できるアンチグレア処理を施すことができる。

【0213】

信号線駆動回路4503a、信号線駆動回路4503b、走査線駆動回路4504a、走査線駆動回路4504bは、別途用意された基板上の単結晶半導体膜または多結晶半導体膜によって形成されていても良い。また、信号線駆動回路のみ、若しくはその一部、または走査線駆動回路のみ、若しくはその一部のみを別途形成して実装しても良く、本実施の形態は図14の構成に限定されない。

40

【0214】

以上により、高性能な発光表示装置(表示パネル)を作製することができる。なお、本実施の形態は、先の実施の形態と適宜組み合わせる用いることができる。

【0215】

(実施の形態8)

本発明の一実施形態に係る半導体装置の作製方法により作製された半導体装置は、電子ペーパーとして適用することができる。電子ペーパーは、情報を表示するものであればあら

50

ゆる分野の電子機器に用いることが可能である。例えば、電子ペーパーを用いて、電子書籍（電子ブック）、ポスター、電車などの乗り物の車内広告、クレジットカード等の各種カードにおける表示等に適用することができる。電子機器の一例を図15、図16に示す。

#### 【0216】

図15（A）は、電子ペーパーで作られたポスター2631を示している。広告媒体が紙の印刷物である場合には、広告の交換は人手によって行われるが、電子ペーパーを用いれば短時間で広告の表示を変えることができる。また、表示も崩れることなく安定した画像が得られる。なお、ポスターは無線で情報を送受信できる構成としてもよい。

#### 【0217】

また、図15（B）は、電車などの乗り物の車内広告2632を示している。広告媒体が紙の印刷物である場合には、広告の交換は人手によって行われるが、電子ペーパーを用いれば人手を多くかけることなく短時間で広告の表示を変えることができる。また表示も崩れることなく安定した画像が得られる。なお、車内広告は無線で情報を送受信できる構成としてもよい。

#### 【0218】

また、図16は、電子書籍の一例を示している。例えば、電子書籍2700は、筐体2701および筐体2703で構成されている。筐体2701および筐体2703は、軸部2711により一体とされており、該軸部2711を軸として開閉動作を行うことができる。このような構成により、紙の書籍のような動作を行うことが可能となる。

#### 【0219】

筐体2701には表示部2705が組み込まれ、筐体2703には表示部2707が組み込まれている。表示部2705および表示部2707は、続き画面を表示する構成としてもよいし、異なる画面を表示する構成としてもよい。異なる画面を表示する構成とすることで、例えば右側の表示部（図16では表示部2705）に文章を表示し、左側の表示部（図16では表示部2707）に画像を表示することができる。

#### 【0220】

また、図16では、筐体2701に操作部などを備えた例を示している。例えば、筐体2701において、電源2721、操作キー2723、スピーカ2725などを備えている。操作キー2723により、頁を送ることができる。なお、筐体の表示部と同一面にキーボードやポインティングデバイスなどを備える構成としてもよい。また、筐体の裏面や側面に、外部接続用端子（イヤホン端子、USB端子、またはACアダプタおよびUSBケーブルなどの各種ケーブルと接続可能な端子など）、記録媒体挿入部などを備える構成としてもよい。さらに、電子書籍2700は、電子辞書としての機能を持たせた構成としてもよい。

#### 【0221】

また、電子書籍2700は、無線で情報を送受信できる構成としてもよい。無線により、電子書籍サーバから、所望の書籍データなどを購入し、ダウンロードする構成とすることも可能である。

#### 【0222】

本実施の形態は、先の実施の形態と適宜組み合わせて用いることができる。

#### 【0223】

（実施の形態9）

本発明の一実施形態に係る半導体装置の作製方法により作製された半導体装置は、さまざまな電子機器（遊技機も含む）に適用することができる。電子機器としては、例えば、テレビジョン装置（テレビ、またはテレビジョン受信機ともいう）、コンピュータ用などのモニタ、デジタルカメラ、デジタルビデオカメラ、デジタルフォトフレーム、携帯電話機（携帯電話、携帯電話装置ともいう）、携帯型ゲーム機、携帯情報端末、音響再生装置、パチンコ機などの大型ゲーム機などが挙げられる。

#### 【0224】

図１７（Ａ）は、テレビジョン装置の一例を示している。テレビジョン装置９６００は、筐体９６０１に表示部９６０３が組み込まれている。表示部９６０３により、映像を表示することが可能である。また、ここでは、スタンド９６０５により筐体９６０１を支持した構成を示している。

【０２２５】

テレビジョン装置９６００の操作は、筐体９６０１が備える操作スイッチや、別体のリモコン操作機９６１０により行うことができる。リモコン操作機９６１０が備える操作キー９６０９により、チャンネルや音量の操作を行うことができ、表示部９６０３に表示される映像を操作することができる。また、リモコン操作機９６１０に、当該リモコン操作機９６１０から出力する情報を表示する表示部９６０７を設ける構成としてもよい。

10

【０２２６】

なお、テレビジョン装置９６００は、受信機やモデムなどを備えた構成とする。受信機により一般のテレビ放送の受信を行うことができ、さらにモデムを介して有線または無線による通信ネットワークに接続することにより、一方向（送信者から受信者）または双方向（送信者と受信者間、あるいは受信者間同士など）の情報通信を行うことも可能である。

【０２２７】

図１７（Ｂ）は、デジタルフォトフレームの一例を示している。例えば、デジタルフォトフレーム９７００は、筐体９７０１に表示部９７０３が組み込まれている。表示部９７０３は、各種画像を表示することが可能であり、例えばデジタルカメラなどで撮影した画像データを表示させることで、通常の写真立てと同様に機能させることができる。

20

【０２２８】

なお、デジタルフォトフレーム９７００は、操作部、外部接続用端子（ＵＳＢ端子、ＵＳＢケーブルなどの各種ケーブルと接続可能な端子など）、記録媒体挿入部などを備える構成とする。これらの構成は、表示部と同一面に組み込まれていてもよいが、側面や裏面に備えるとデザイン性が向上するため好ましい。例えば、デジタルフォトフレームの記録媒体挿入部に、デジタルカメラで撮影した画像データを記憶したメモリを挿入して画像データを取り込み、取り込んだ画像データを表示部９７０３に表示させることができる。

【０２２９】

また、デジタルフォトフレーム９７００は、無線で情報を送受信できる構成としてもよい。無線により、所望の画像データを取り込み、表示させる構成とすることもできる。

30

【０２３０】

図１８（Ａ）は携帯型遊技機であり、筐体９８８１と筐体９８９１で構成されており、連結部９８９３により、開閉可能に連結されている。筐体９８８１には表示部９８８２が組み込まれ、筐体９８９１には表示部９８８３が組み込まれている。また、図１８（Ａ）に示す携帯型遊技機は、その他、スピーカ部９８８４、記録媒体挿入部９８８６、ＬＥＤランプ９８９０、入力手段（操作キー９８８５、接続端子９８８７、センサ９８８８（力、変位、位置、速度、加速度、角速度、回転数、距離、光、液、磁気、温度、化学物質、音声、時間、硬度、電場、電流、電圧、電力、放射線、流量、湿度、傾度、振動、にৌい又は赤外線を測定する機能を含むもの）、マイクロフォン９８８９）等を備えている。もちろん、携帯型遊技機の構成は上述のものに限定されず、少なくとも半導体装置を備えた構成であればよく、その他付属設備が適宜設けられた構成とすることができる。図１８（Ａ）に示す携帯型遊技機は、記録媒体に記録されているプログラム又はデータを読み出して表示部に表示する機能や、他の携帯型遊技機と無線通信を行って情報を共有する機能を有する。なお、図１８（Ａ）に示す携帯型遊技機が有する機能はこれに限定されず、様々な機能を有することができる。

40

【０２３１】

図１８（Ｂ）は大型遊技機であるスロットマシンの一例を示している。スロットマシン９９００は、筐体９９０１に表示部９９０３が組み込まれている。また、スロットマシン９９００は、その他、スタートレバーやストップスイッチなどの操作手段、コイン投入口、スピーカなどを備えている。もちろん、スロットマシン９９００の構成は上述のものに限

50

定されず、少なくとも半導体装置を備えた構成であればよく、その他付属設備が適宜設けられた構成とすることができる。

【0232】

図19(A)は、携帯電話機の一例を示している。携帯電話機1000は、筐体1001に組み込まれた表示部1002の他、操作ボタン1003、外部接続ポート1004、スピーカ1005、マイク1006などを備えている。

【0233】

図19(A)に示す携帯電話機1000は、表示部1002を指などで触れることで、情報を入力することができる。また、電話を掛ける、或いはメールを打つなどの操作は、表示部1002を指などで触れることにより行うことができる。

10

【0234】

表示部1002の画面は主として3つのモードがある。第1は、画像の表示を主とする表示モードであり、第2は、文字等の情報の入力を主とする入力モードである。第3は表示モードと入力モードの2つのモードが混合した表示+入力モードである。

【0235】

例えば、電話を掛ける、或いはメールを作成する場合は、表示部1002を文字の入力を主とする文字入力モードとし、画面に表示させた文字の入力操作を行えばよい。この場合、表示部1002の画面のほとんどにキーボードまたは番号ボタンを表示させることが好ましい。

【0236】

また、携帯電話機1000内部に、ジャイロ、加速度センサ等の傾きを検出するセンサを有する検出装置を設けることで、携帯電話機1000の向き(縦か横か)を判断して、表示部1002の画面表示を自動的に切り替えるようにすることができる。

20

【0237】

また、画面モードの切り替えは、表示部1002を触れること、又は筐体1001の操作ボタン1003の操作により行われる。また、表示部1002に表示される画像の種類によって切り替えるようにすることもできる。例えば、表示部に表示する画像信号が動画のデータであれば表示モード、テキストデータであれば入力モードに切り替える。

【0238】

また、入力モードにおいて、表示部1002の光センサで検出される信号を検知し、表示部1002のタッチ操作による入力が一定期間ない場合には、画面のモードを入力モードから表示モードに切り替えるように制御してもよい。

30

【0239】

表示部1002は、イメージセンサとして機能させることもできる。例えば、表示部1002に掌や指を触れることで、掌紋、指紋等を撮像することで、本人認証を行うことができる。また、表示部に近赤外光を発光するバックライトまたは近赤外光を発光するセンシング用光源を用いれば、指静脈、掌静脈などを撮像することもできる。

【0240】

図19(B)も携帯電話機の一例である。図19(B)の携帯電話機は、筐体9411に、表示部9412、及び操作ボタン9413を含む表示装置9410と、筐体9401に操作ボタン9402、外部入力端子9403、マイク9404、スピーカ9405、及び着信時に発光する発光部9406を含む通信装置9400とを有しており、表示機能を有する表示装置9410は電話機能を有する通信装置9400と矢印の2方向に脱着可能である。よって、表示装置9410と通信装置9400の短軸同士を取り付けることも、表示装置9410と通信装置9400の長軸同士を取り付けることもできる。また、表示機能のみを必要とする場合、通信装置9400より表示装置9410を取り外し、表示装置9410を単独で用いることもできる。通信装置9400と表示装置9410とは無線通信又は有線通信により画像又は入力情報を授受することができ、それぞれ充電可能なバッテリーを有する。

40

【0241】

50



なお、本実施の形態は、先の実施の形態と適宜組み合わせて用いることができる。

【符号の説明】

【 0 2 4 2 】

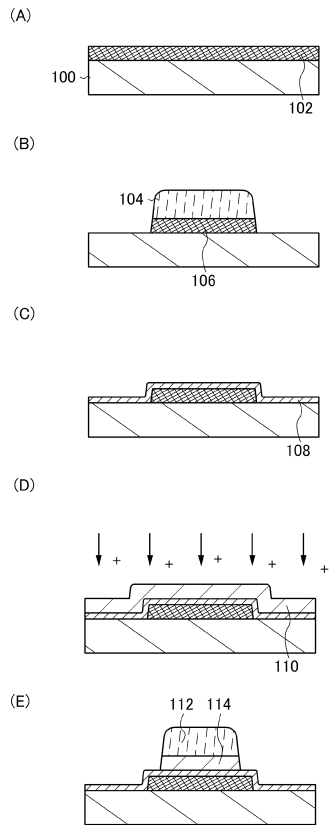
1 0 0	基板	
1 0 2	導電膜	
1 0 4	レジストマスク	
1 0 6	導電層	
1 0 8	絶縁層	
1 1 0	酸化物半導体膜	
1 1 2	レジストマスク	10
1 1 4	酸化物半導体層	
1 1 6	導電膜	
1 1 8	レジストマスク	
1 2 0	レジストマスク	
1 2 2	導電層	
1 2 4	導電層	
1 2 6	絶縁層	
1 2 8	導電層	
1 5 0	トランジスタ	
2 0 0	基板	20
2 0 2	導電膜	
2 0 4	レジストマスク	
2 0 6	導電層	
2 0 8	絶縁層	
2 1 0	導電膜	
2 1 2	レジストマスク	
2 1 4	レジストマスク	
2 1 6	導電層	
2 1 8	導電層	
2 2 0	酸化物半導体膜	30
2 2 2	レジストマスク	
2 2 4	酸化物半導体層	
2 2 6	絶縁層	
2 2 8	導電層	
2 5 0	トランジスタ	
3 0 0	基板	
3 0 2	ゲート電極	
3 0 4	容量配線	
3 0 6	端子	
3 0 8	絶縁層	40
3 1 0	ソース電極	
3 1 2	ドレイン電極	
3 1 4	接続電極	
3 1 6	端子	
3 1 8	酸化物半導体層	
3 2 0	絶縁層	
3 2 2	透明導電層	
3 2 4	透明導電層	
3 2 6	透明導電層	
3 5 0	トランジスタ	50

5 0 0	基板	
5 0 1	下地層	
5 0 2	導電膜	
5 0 3	酸化物半導体膜	
5 0 6	導電層	
5 0 8	酸化物半導体層	
5 1 0	絶縁層	
5 1 2	導電層	
5 1 4	絶縁層	
5 2 8	導電層	10
5 5 0	トランジスタ	
6 0 2	基板	
6 5 0	薄膜トランジスタ	
6 6 0	電極層	
6 7 0	電極層	
6 8 0	球形粒子	
6 8 0 a	黒色領域	
6 8 0 b	白色領域	
6 8 2	充填材	
7 0 1	トランジスタ	20
7 0 2	発光素子	
7 0 3	陰極	
7 0 4	発光層	
7 0 5	陽極	
7 1 1	トランジスタ	
7 1 2	発光素子	
7 1 3	陰極	
7 1 4	発光層	
7 1 5	陽極	
7 1 6	遮蔽膜	30
7 1 7	導電膜	
7 2 1	トランジスタ	
7 2 2	発光素子	
7 2 3	陰極	
7 2 4	発光層	
7 2 5	陽極	
7 2 7	導電膜	
1 0 0 0	携帯電話機	
1 0 0 1	筐体	
1 0 0 2	表示部	40
1 0 0 3	操作ボタン	
1 0 0 4	外部接続ポート	
1 0 0 5	スピーカ	
1 0 0 6	マイク	
2 6 0 0	基板	
2 6 0 1	対向基板	
2 6 0 2	シール材	
2 6 0 3	素子層	
2 6 0 4	液晶層	
2 6 0 5	着色層	50

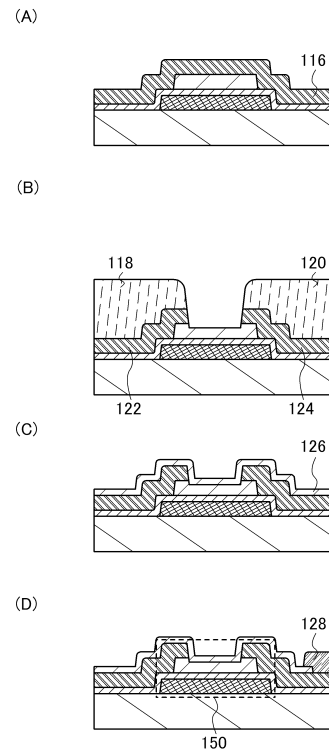
2 6 0 6	偏光板	
2 6 0 7	偏光板	
2 6 0 8	配線回路部	
2 6 0 9	フレキシブル配線基板	
2 6 1 0	冷陰極管	
2 6 1 1	反射板	
2 6 1 2	回路基板	
2 6 1 3	拡散板	
2 6 3 1	ポスター	
2 6 3 2	車内広告	10
2 7 0 0	電子書籍	
2 7 0 1	筐体	
2 7 0 3	筐体	
2 7 0 5	表示部	
2 7 0 7	表示部	
2 7 1 1	軸部	
2 7 2 1	電源	
2 7 2 3	操作キー	
2 7 2 5	スピーカ	
4 0 0 1	基板	20
4 0 0 2	画素部	
4 0 0 3	信号線駆動回路	
4 0 0 4	走査線駆動回路	
4 0 0 5	シール材	
4 0 0 6	基板	
4 0 0 8	液晶層	
4 0 1 0	薄膜トランジスタ	
4 0 1 1	薄膜トランジスタ	
4 0 1 3	液晶素子	
4 0 1 5	接続端子電極	30
4 0 1 6	端子電極	
4 0 1 8	F P C	
4 0 1 9	異方性導電膜	
4 0 2 0	絶縁層	
4 0 2 1	絶縁層	
4 0 3 0	画素電極層	
4 0 3 1	対向電極層	
4 0 3 2	絶縁層	
4 0 3 3	絶縁層	
4 0 3 5	スペーサ	40
4 5 0 1	基板	
4 5 0 2	画素部	
4 5 0 3 a	信号線駆動回路	
4 5 0 3 b	信号線駆動回路	
4 5 0 4 a	走査線駆動回路	
4 5 0 4 b	走査線駆動回路	
4 5 0 5	シール材	
4 5 0 6	基板	
4 5 0 7	充填材	
4 5 0 9	薄膜トランジスタ	50

4 5 1 0	薄膜トランジスタ	
4 5 1 1	発光素子	
4 5 1 2	電界発光層	
4 5 1 3	電極層	
4 5 1 5	接続端子電極	
4 5 1 6	端子電極	
4 5 1 7	電極層	
4 5 1 8 a	F P C	
4 5 1 8 b	F P C	
4 5 1 9	異方性導電膜	10
4 5 2 0	隔壁	
9 4 0 0	通信装置	
9 4 0 1	筐体	
9 4 0 2	操作ボタン	
9 4 0 3	外部入力端子	
9 4 0 4	マイク	
9 4 0 5	スピーカ	
9 4 0 6	発光部	
9 4 1 0	表示装置	
9 4 1 1	筐体	20
9 4 1 2	表示部	
9 4 1 3	操作ボタン	
9 6 0 0	テレビジョン装置	
9 6 0 1	筐体	
9 6 0 3	表示部	
9 6 0 5	スタンド	
9 6 0 7	表示部	
9 6 0 9	操作キー	
9 6 1 0	リモコン操作機	
9 7 0 0	デジタルフォトフレーム	30
9 7 0 1	筐体	
9 7 0 3	表示部	
9 8 8 1	筐体	
9 8 8 2	表示部	
9 8 8 3	表示部	
9 8 8 4	スピーカ部	
9 8 8 5	操作キー	
9 8 8 6	記録媒体挿入部	
9 8 8 7	接続端子	
9 8 8 8	センサ	40
9 8 8 9	マイクロフォン	
9 8 9 0	L E D ランプ	
9 8 9 1	筐体	
9 8 9 3	連結部	
9 9 0 0	スロットマシン	
9 9 0 1	筐体	
9 9 0 3	表示部	

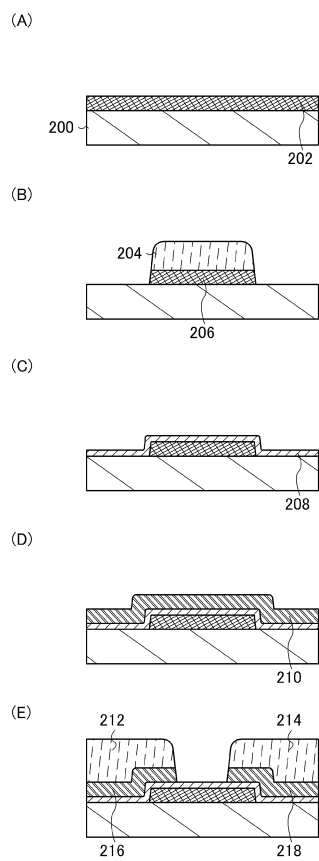
【図 1】



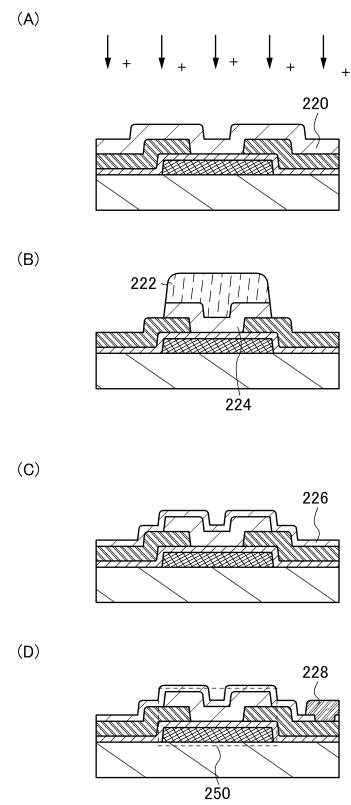
【図 2】



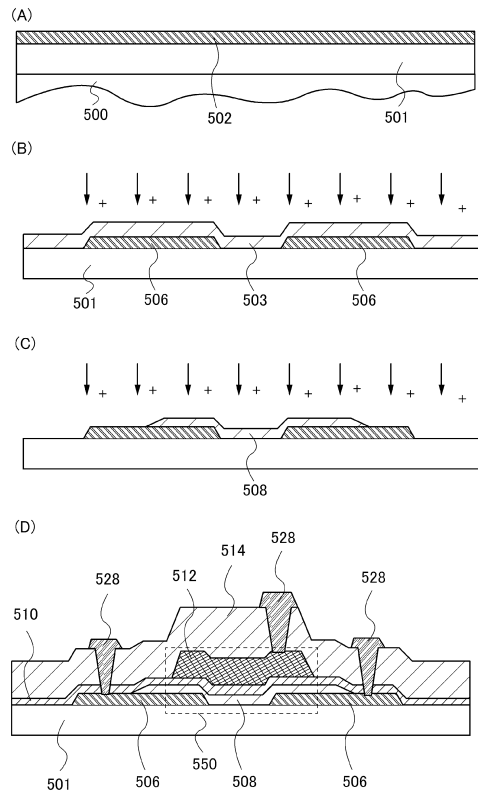
【図 3】



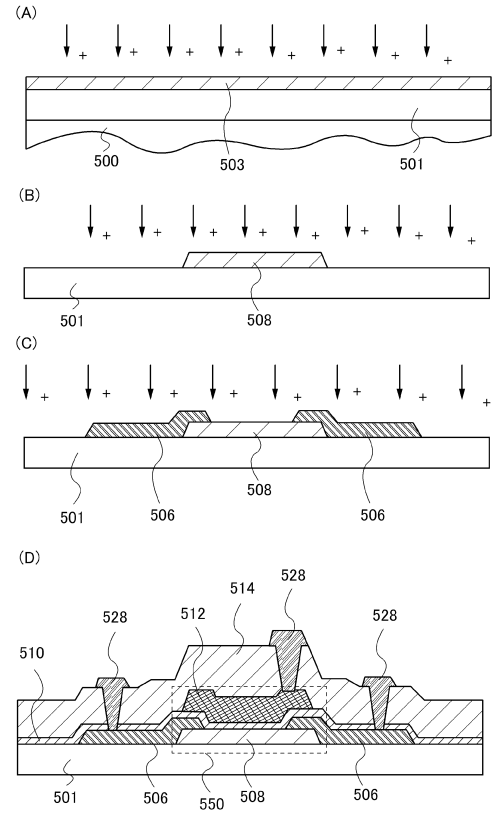
【図 4】



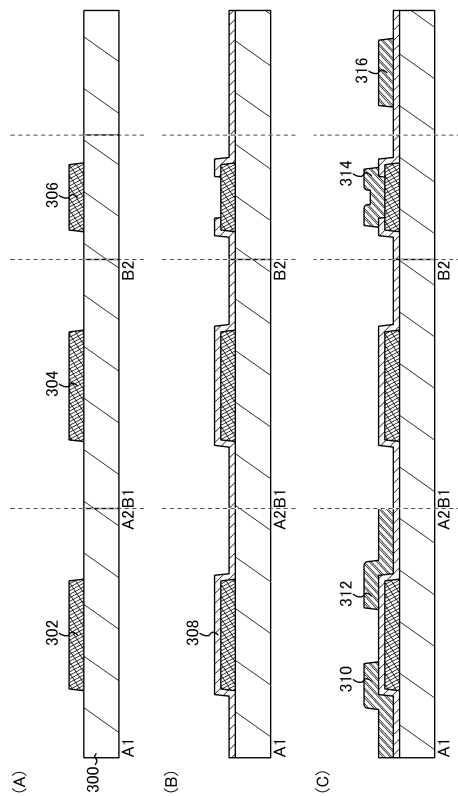
【図 5】



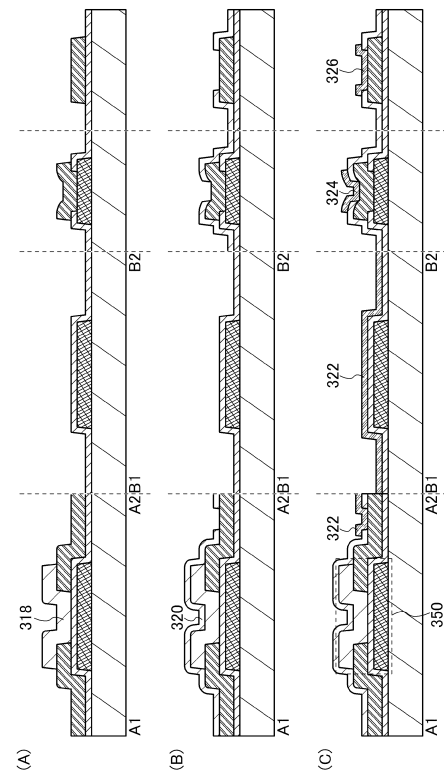
【図 6】



【図 7】

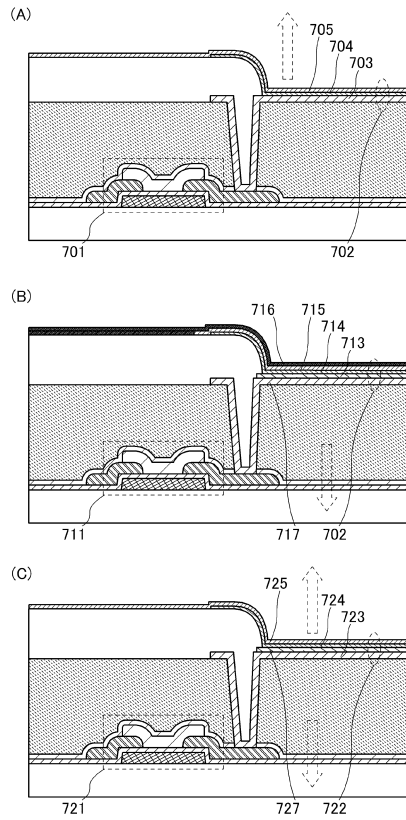


【図 8】

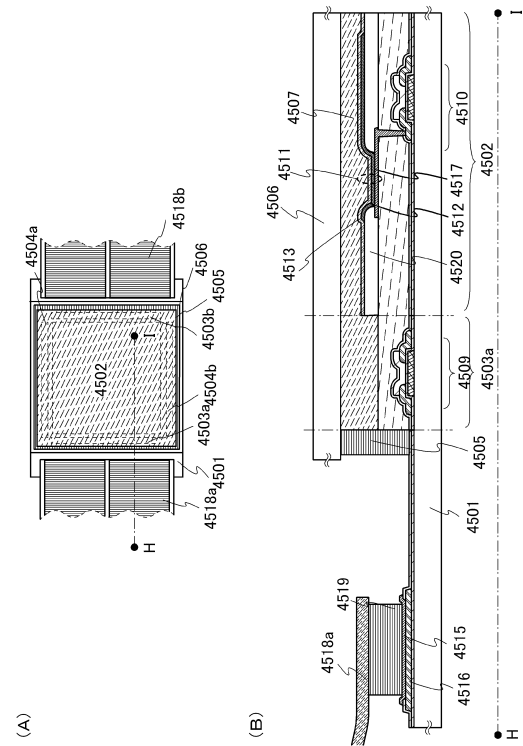




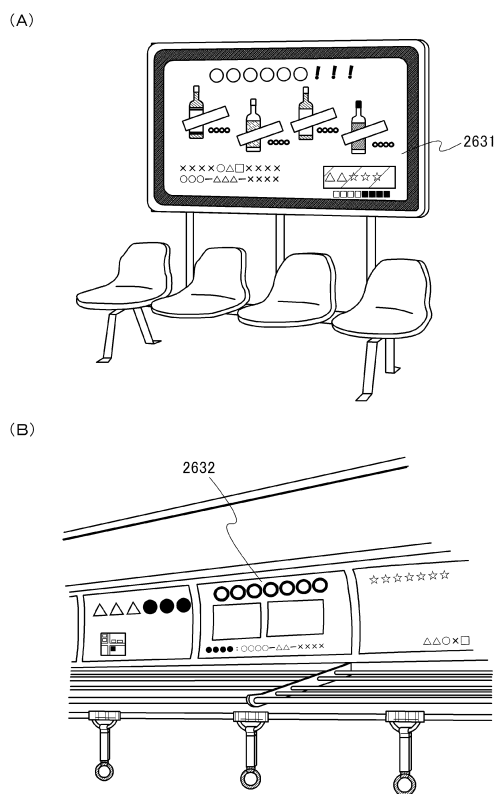
【図 13】



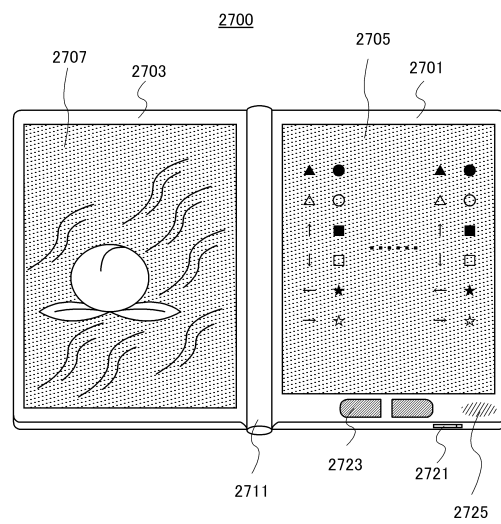
【図 14】



【図 15】

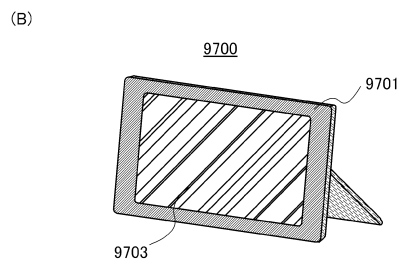
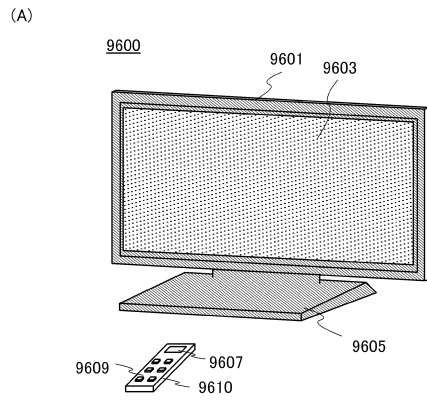


【図 16】

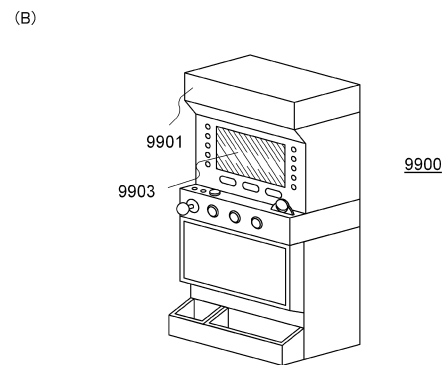
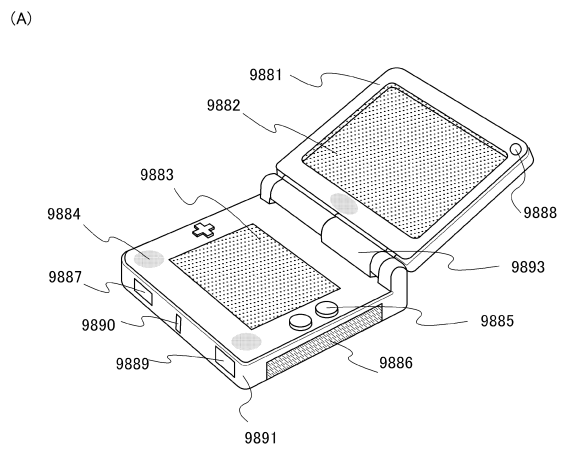




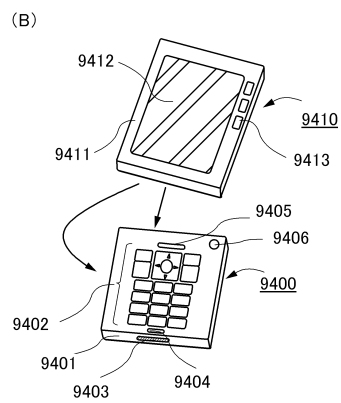
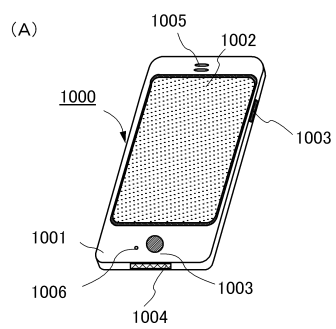
【図 17】



【図 18】



【図 19】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2008/136505(WO,A1)  
米国特許出願公開第2008/0283831(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)  
H01L 29/786  
H01L 21/336