

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5464894号
(P5464894)

(45) 発行日 平成26年4月9日 (2014.4.9)

(24) 登録日 平成26年1月31日 (2014.1.31)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 L 21/336 (2006.01)

HO 1 L 29/786 (2006.01)

HO 1 L 21/20 (2006.01)

HO 1 L 29/78 6 1 8 Z

HO 1 L 29/78 6 1 8 G

HO 1 L 29/78 6 1 8 E

HO 1 L 21/20

請求項の数 1 (全 56 頁)

(21) 出願番号	特願2009-101255 (P2009-101255)	(73) 特許権者	000153878
(22) 出願日	平成21年4月17日 (2009.4.17)		株式会社半導体エネルギー研究所
(65) 公開番号	特開2009-278082 (P2009-278082A)		神奈川県厚木市長谷398番地
(43) 公開日	平成21年11月26日 (2009.11.26)	(72) 発明者	官入 秀和
審査請求日	平成24年4月9日 (2012.4.9)		神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2008-109446 (P2008-109446)		半導体エネルギー研究所内
(32) 優先日	平成20年4月18日 (2008.4.18)	(72) 発明者	大力 浩二
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		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	恵木 勇司
			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	神保 安弘
			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
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ゲート電極と、
前記ゲート電極上のゲート絶縁層と、
前記ゲート絶縁層に接し、非晶質構造の中に複数の結晶領域を含みチャネル形成領域を有する第1の半導体層と、
一導電型を付与する不純物元素を含み、ソース領域及びドレイン領域を有する第2の半導体層と、
前記第1の半導体層と前記第2の半導体層との間のバッファ層と、を有し、
前記結晶領域は、前記ゲート絶縁層と前記第1の半導体層との界面から離れた位置から、前記第2の半導体層に向かって略放射状に成長した逆錐形状の構造を有し、
前記第1の半導体層は、二次イオン質量分析法によって計測される酸素濃度が、 $5 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下であり、窒素濃度が $1 \times 10^{20} \text{ atom/cm}^3$ 乃至 $1 \times 10^{21} \text{ atoms/cm}^3$ であり、
前記窒素濃度は、前記ゲート絶縁層と前記第1の半導体層との界面近傍において、二次イオン質量分析法によって計測されるピーク濃度が $3 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 乃至 $1 \times 10^{21} \text{ atoms/cm}^3$ であり、該界面近傍から前記第2の半導体層に向かって減少しており、
前記第1の半導体層において、窒素濃度が $1 \times 10^{20} \text{ atom/cm}^3$ 以上 $3 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 以下の領域に、前記結晶領域の成長端が位置していることを特徴

10

20

とする半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、薄膜トランジスタおよびその作製方法、並びに該薄膜トランジスタを用いた半導体装置および表示装置に関する。

【背景技術】

【0002】

既に液晶ディスプレイの技術分野において、薄膜トランジスタ（以下、「TFT」とも記す。）は広く用いられている。TFTは電界効果トランジスタの一種であり、チャンネルを形成する半導体が薄膜で形成されることからこのような命名がされている。現在では、当該半導体の薄膜としてアモルファスシリコン若しくは多結晶シリコンを用いてTFTを製造する技術が実用化されている。

10

【0003】

ところで、アモルファスシリコン若しくは多結晶シリコンと並び、微結晶シリコンと呼ばれる半導体材料が古くから知られており、電界効果トランジスタに関するものについての報告もある（例えば、特許文献1を参照）。しかしながら、今日に至るまで微結晶シリコンを用いたTFTは、アモルファスシリコントランジスタと多結晶シリコントランジスタの間に埋もれて実用化が遅れ、学会レベルで報告が散見されるのが実情である（例えば、非特許文献1を参照）。

20

【0004】

微結晶シリコン膜は、プラズマCVD法とよばれる方法により、原料ガスをプラズマ（弱電離プラズマ）により分解してガラス等の絶縁表面を有する基板上に形成することが可能であるが、非平衡状態で反応が進むため、結晶核生成や結晶成長を制御することが難しいと考えられていた。

【0005】

勿論、さまざまな研究が進められ、一部の説によると、微結晶シリコンの成長メカニズムは、まず、基板上に原子がランダムに配向したアモルファス（非晶質）相が成長し、その後、結晶の核成長がおこると考えられている（非特許文献2を参照）。この場合、微結晶シリコンの核成長が起こるときには、特異なシリコン-水素結合がアモルファス表面に観測されることから、微結晶シリコンの核密度を膜形成時の水素ガス濃度により制御できると考えられている。

30

【0006】

また、微結晶シリコン膜成長表面における酸素、窒素等の不純物元素が与える影響についても検討されており、不純物濃度を低減することで、微結晶シリコン膜の結晶粒が大粒径化し、欠陥密度（特に、荷電欠陥密度）が低減するという知見がある（非特許文献3を参照）。

【0007】

そして、TFTの動作特性を向上させるためには、微結晶シリコン膜の高純度化が必要であるという考え方があり、酸素、窒素及び炭素濃度を、それぞれ $5 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$ 、 $2 \times 10^{-18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $1 \times 10^{-18} \text{ cm}^{-3}$ として実効移動度の向上を図ったものが報告されている（非特許文献4を参照）。また、プラズマCVD法による成膜温度を150とし、酸素濃度を $1 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$ にまで低減させ実効移動度の向上を図ったものが報告されている（非特許文献5を参照）。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】米国特許第5,591,987号

【非特許文献】

【0009】

50

【非特許文献1】トシアキ・アライ (Toshiaki Arai) 他、エス・アイ・ディー 07 ダイジェスト (SID 07 DIGEST)、2007、p.1370 - 1373

【非特許文献2】ヒロユキ・フジワラ (Hiroyuki Fujiwara) 他、ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス (Jpn. J. Appl. Phys.) Vol. 41、2002、p.2821 - 2828

【非特許文献3】トシヒロ・カメイ (Toshihiro Kamei) 他、ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス (Jpn. J. Appl. Phys.) Vol. 37、1998、p.L265 - L268

【非特許文献4】C. - H. Lee 他、インターナショナル エレクトロン デバイス ミーティング テクニカル ダイジェスト (Int. Electron Devices Meeting Tech. Digest)、2006、p.295 - 298

【非特許文献5】Czang - Ho Lee 他、アプライド・フィジックス・レターズ (Appl. Phys. Lett.)、89、2006、p.252101

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

しかしながら、アモルファスシリコン膜を形成した後に、金属材料でなる光熱変換層を設け、レーザ光を照射して微結晶シリコン膜を形成する方法では、結晶性を向上させることはできるが、生産性の観点から、レーザーアニールで作製される多結晶シリコン膜との間に優位性を見いだすことができない。

【0011】

微結晶シリコンの核成長が起こるときには、特異なシリコン - 水素結合がアモルファス表面に観測されるという知見は有益ではあるが、結局は核生成位置と核生成密度を直接的に制御することができていない。

【0012】

また、微結晶シリコン膜の高純度化を図り、不純物濃度を低減することで、微結晶シリコン膜の結晶粒が大粒径化し、欠陥密度（特に荷電欠陥密度）が低減したものが得られるとしても、それは単に微結晶シリコン膜の物性値が変化したことを示すのみで、必ずしも TFT などの素子特性を改善するものではない。半導体素子は、半導体中を流れる電子又は正孔によるキャリアの流れを意図的に制御して動作させるものであるが、当該キャリアが流れる場所を考慮した上で、その場所における微結晶シリコン膜の膜質を改善できなければ意味がないからである。

【0013】

そこで、本発明の一態様は、TFT に代表される半導体素子の動作特性が改善されるように、微結晶半導体膜若しくは結晶粒を含む半導体膜の膜質を制御することを目的とする。或いは、微結晶半導体膜若しくは結晶粒を含む半導体膜の形成過程を制御して、TFT に代表される半導体素子の特性向上を図ることを目的とする。更には本発明の一態様は、薄膜トランジスタのオン電流を向上させ、オフ電流を低減することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明の一態様は、非晶質構造の中に複数の結晶領域を含む半導体層の作製において、該結晶領域が生成する起点となる結晶核の生成位置と生成密度を制御することで、該半導体層の膜質を制御することを要旨とする。本発明の一態様は、非晶質構造の中に複数の結晶領域を含む半導体層をチャネル形成領域とする薄膜トランジスタの作製において、該半導体層の該結晶領域が生成する起点となる結晶核の生成位置と生成密度を、キャリアが流れる領域に合わせて制御することを要旨とする。

【0015】

非晶質構造の中に複数の結晶領域を含む半導体層は、微結晶半導体の生成が可能な混合比で半導体材料ガス（例えば、水素化シリコンガス、フッ化シリコンガス又は塩化シリコ

10

20

30

40

50

ンガス)と希釈ガスを反応ガスとして用いて形成される。当該反応ガスは、酸素濃度を低減させた超高真空反応室内に導入され、所定の圧力を維持してグロー放電プラズマを生成する。これにより反応室内に置かれた基板に被膜が堆積されるが、堆積初期段階においては結晶核の生成を妨害する不純物元素を反応室中に含ませて被膜の堆積を開始し、当該不純物元素の濃度を低減させていくことで結晶核を生成させ、その核を基に結晶領域を形成する。

【0016】

結晶核の生成を妨害する不純物としては、窒素若しくは窒化物が好ましい。半導体層に窒素を含ませる場合には、該半導体層において、SIMSによって計測される窒素濃度が $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 乃至 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ とする。該窒素濃度は、ゲート絶縁層と半導体層との界面近傍において、SIMSによって計測されるピーク濃度が $3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 乃至 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ であり、該界面近傍から半導体層の厚さ方向に向けて窒素濃度を減少させることで、結晶領域の成長端となる核生成位置と核生成密度を制御する。

10

【0017】

なお、結晶核の生成を抑制する不純物元素において、シリコン中において、キャリアトラップを生成しない不純物元素(例えば、窒素)を選択する。一方、シリコンのダングリングボンドを生成する不純物元素(例えば、酸素)の濃度は低減させる。すなわち、酸素についてはSIMSによって計測される濃度を $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下とすることが好ましい。

20

【0018】

本発明の一態様である薄膜トランジスタは、非晶質構造の中に複数の結晶領域を含む半導体層を有し、該半導体層上に非晶質半導体により構成されるバッファ層を有する。当該バッファ層は、半導体層がゲート絶縁層と接する面とは反対側に設けられ、所謂バックチャネル側に配設される。すなわち、該バッファ層は、ソース領域及びドレイン領域を形成する一対の一導電型の不純物元素を含む半導体層の間に設けられ、非晶質構造の中に複数の結晶領域を含む半導体層の該結晶領域を埋設し、該半導体層がバックチャネル側において露出しないように設けられる。

【0019】

なお、本明細書中において、濃度は二次イオン質量分析法(Secondary Ion Mass Spectrometry。以下、SIMSという。)によるものである。ただし、他の計測法が挙げられている場合など、特に記載がある場合にはこの限りではない。

30

【0020】

なお、本明細書中において、オン電流とは、トランジスタがオン状態のときに、ソース電極とドレイン電極の間に流れる電流をいう。

【0021】

また、オフ電流とは、トランジスタがオフ状態のときに、ソース電極とドレイン電極の間に流れる電流をいう。例えば、N型のトランジスタの場合には、ゲート電圧がトランジスタの閾値電圧よりも低いときにソース電極とドレイン電極との間に流れる電流である。

40

【発明の効果】

【0022】

非晶質構造の中に複数の結晶領域を含む半導体層において、結晶領域の発生密度と発生位置を制御することができる。このような半導体層を薄膜トランジスタのチャネル形成領域とすることで、オン電流の向上を図ることができる。また、該半導体層の上層にバッファ層を設けることで、薄膜トランジスタのオフ電流を低減させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】薄膜トランジスタの一例を説明する図。

【図2】薄膜トランジスタが有する半導体層を説明する図。

50

- 【図 3】薄膜トランジスタの作製方法の一例を説明する図。
 【図 4】薄膜トランジスタの作製方法の一例を説明する図。
 【図 5】薄膜トランジスタの作製方法の一例を説明する図。
 【図 6】薄膜トランジスタの作製方法に適用可能な装置を説明する図。
 【図 7】薄膜トランジスタの作製方法の一例を説明する図。
 【図 8】薄膜トランジスタの作製方法の一例を説明する図。
 【図 9】薄膜トランジスタの作製方法の一例を説明する図。
 【図 10】薄膜トランジスタの作製方法の一例を説明する図。
 【図 11】薄膜トランジスタの作製方法の一例を説明する図。
 【図 12】薄膜トランジスタの一例を説明する図。 10
 【図 13】薄膜トランジスタの作製方法の一例を説明する図。
 【図 14】薄膜トランジスタの作製方法の一例を説明する図。
 【図 15】薄膜トランジスタの作製方法の一例を説明する図。
 【図 16】薄膜トランジスタの作製方法の一例を説明する図。
 【図 17】電子機器等を説明する図。
 【図 18】電子機器等を説明する図。
 【図 19】電子機器等を説明する図。
 【図 20】電子機器等を説明する図。
 【図 21】電子機器等を説明する図。
 【図 22】電子機器等を説明する図。 20
 【図 23】電子機器等を説明する図。
 【図 24】電子機器等を説明する図。
 【図 25】実施例 1 により得られた試料の断面を示す像。
 【図 26】実施例 1 により得られた試料の厚さ方向における酸素、窒素、シリコン、水素、及びフッ素濃度を示す図。
 【図 27】図 25 と図 26 を重ね合わせて示した図。
 【図 28】実施例 1 により得られた試料における結晶粒を含む半導体層の平面を示す像。
 【図 29】実施例 2 により得られた薄膜トランジスタの電気特性を示す図。
 【図 30】実施例 2 により得られた薄膜トランジスタの断面を示す像。
 【図 31】実施例 3 における電子線回折像の取得箇所を説明する図。 30
 【図 32】図 31 のポイント 1 及びポイント 2 で取得した電子線回折像。
 【図 33】図 31 のポイント 3 及びポイント 4 で取得した電子線回折像。
 【図 34】図 31 のポイント 5 及びポイント 6 で取得した電子線回折像。
 【図 35】図 26 と比較する試料の断面を示す像、及び酸素、窒素、シリコン、水素、及びフッ素濃度を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下では、本発明の実施の形態について図面を用いて詳細に説明する。ただし、本発明は以下の説明に限定されず、本発明の趣旨およびその範囲から逸脱することなくその形態および詳細を様々に変更し得ることは、当業者であれば容易に理解される。したがって、本発明は以下に示す実施の形態の記載内容に限定して解釈されるものではない。なお、図面を用いて発明の構成を説明するにあたり、同じものを指す符号は異なる図面間でも共通して用いる。また、同様のものを指す際にはハッチパターンを同じくし、特に符号を付さない場合がある。

【0025】

(実施の形態 1)

本実施の形態では、薄膜トランジスタの形態の一例について、図面を参照して説明する。

【0026】

図 1 は、本実施の形態にかかる薄膜トランジスタの上面図及び断面図を示す。図 1 に示

10

20

30

40

50

す薄膜トランジスタは、基板 100 上にゲート電極層 102 を有し、ゲート電極層 102 を覆ってゲート絶縁層 104 を有し、ゲート絶縁層 104 上に接して半導体層 106 を有し、半導体層 106 上にバッファ層 108 を有し、バッファ層 108 上の一部に接してソース領域及びドレイン領域 110 を有する。また、ソース領域及びドレイン領域 110 上に接して配線層 112 を有する。配線層 112 はソース電極及びドレイン電極を構成する。配線層 112 上には、保護膜として機能する絶縁層 114 を有する。また、各層は所望の形状にパターン形成されている。

【0027】

なお、図 1 に示す薄膜トランジスタは、液晶表示装置の画素部に設けられる画素トランジスタに適用することができる。そのため、図示した例では、絶縁層 114 に開口部が設けられ、絶縁層 114 上に画素電極層 116 が設けられ、画素電極層 116 と配線層 112 の一方とが接続されている。

10

【0028】

また、ソース電極及びドレイン電極の一方は、U 字型（またはコの字型、馬蹄型）の形状で設けられ、これがソース電極及びドレイン電極の他方を囲い込んでいる。ソース電極とドレイン電極との距離は、ほぼ一定に保たれている（図 1 を参照）。

【0029】

薄膜トランジスタのソース電極及びドレイン電極を上記した形状とすることで、該薄膜トランジスタのチャネル幅を大きくすることができ、電流量が増大する。また、電気的特性のばらつきを低減することができる。更には、作製工程におけるマスクパターンのずれによる信頼性の低下を抑制することができる。ただし、これに限定されず、ソース電極及びドレイン電極の一方は必ずしも U 字型でなくともよい。

20

【0030】

ここで、図 1 に示す薄膜トランジスタの主要な特徴の一つである半導体層 106 について説明する。半導体層 106 は、薄膜トランジスタのチャネル形成領域として機能する。半導体層 106 において、結晶質半導体により構成される結晶粒は、非晶質構造を含む半導体層中に離散して存在する（図 2 を参照）。

【0031】

半導体層 106 は、第 1 の領域 120 及び第 2 の領域 122 を有する。第 1 の領域 120 は、非晶質構造を有する。第 2 の領域 122 は、離散的に存在する複数の結晶粒 121 と、複数の結晶粒 121 の間に非晶質構造と、を有する。第 1 の領域 120 は、ゲート絶縁層 104 上に接して、ゲート絶縁層 104 との界面から厚さ t_1 となる位置まで存在する。第 2 の領域 122 は、第 1 の領域 120 上に接して、厚さ t_2 となる位置まで存在する。すなわち、結晶粒 121 の核生成位置は、ゲート絶縁層 104 の界面から t_1 の位置となるよう半導体層 106 の厚さ方向において制御されている。結晶粒 121 の核生成位置は、半導体層 106 に含まれる結晶化を抑制する不純物元素の濃度（例えば窒素濃度）により制御されている。

30

【0032】

結晶粒 121 の形状は、逆錐形である。ここで、逆錐形とは、(i) 多数の平面から構成される面と、(ii) 前記面の外周と前記面の外に存在する頂点とを結ぶ線の集合によって作られる立体的形状であって、該頂点が基板側に存在するものをいう。換言すると、後の実施例において説明するように、ゲート絶縁層 104 と半導体層 106 との界面から離れた位置から、半導体層 106 が堆積される方向に向けて、略放射状に成長した形状である。離散的に形成された結晶核のそれぞれが、半導体層の形成と共に結晶の方位に沿って成長することで、結晶粒は、結晶核を起点として結晶の成長方向と垂直な面の面内方向に広がるように成長する。このように結晶粒を有することで、非晶質半導体よりもオン電流を高くすることができる。また、結晶粒 121 内には単結晶または双晶を含む。ここで、逆錐形の結晶粒 121 では、側面は面方位が揃っており、側面の断面形状は一直線である（図 2 を参照）。そのため、結晶粒 121 は複数の結晶を含んでいる形態よりも単結晶または双晶を含む形態に近いと考えられる。双晶を含む場合には、複数の結晶を含む場合

40

50

と比較して、ダングリングボンドが少ないため欠陥数が少なく、オフ電流が小さい。また、複数の結晶を含む場合と比較して、粒界が少なく、オン電流が大きい。なお、結晶粒 121 には、複数の結晶を含んでいてもよい。

【0033】

なお、双晶とは、結晶粒界において異なる二つの結晶粒が極めて整合性よく接合していることをいう。即ち、結晶粒界において結晶格子が連続的に連なり、結晶欠陥等に起因するトラップ準位を非常に作りにくい構成となっている。従って、このような結晶構造を有する領域は実質的に結晶粒界が存在しないと見なすことができる。

【0034】

なお、ここで結晶核の生成を抑制する不純物元素は、シリコン中にあってキャリアトラップを生成しない不純物元素（例えば、窒素）を選択する。一方、シリコンのダングリングボンドを生成する不純物元素（例えば酸素）の濃度は低減させる。従って、窒素濃度を低減せずに酸素濃度を低減させるとよい。具体的には、酸素については SIMS によって計測される濃度を $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下とするとよい。

【0035】

また、半導体層 106 の形成は、ゲート絶縁層 104 の表面に窒素を存在させて行う。ここで、窒素濃度は核生成位置を決定するため重要である。窒素が存在するゲート絶縁層 104 上に半導体層 106 を形成すると、まず、第 1 の領域 120 が形成され、その後、第 2 の領域 122 が形成される。ここで、第 1 の領域 120 と第 2 の領域 122 との界面の位置は窒素濃度により決定される。SIMS によって計測される窒素の濃度が $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $7 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下のときに結晶核を生成し、第 2 の領域 122 が形成されることとなる。すなわち、結晶粒 121 の成長の起点となる結晶核の生成位置において、SIMS によって計測される窒素の濃度は $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $7 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下となる。換言すると、逆錐形を有する結晶粒 121 の頂点における、SIMS によって計測される窒素の濃度は $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $7 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。

【0036】

また、窒素濃度は、ゲート絶縁層 104 との界面から離れるにつれて徐々に低下する。窒素濃度は、25 nm 以上 40 nm 以下の範囲でゲート絶縁層 104 界面より一桁低下するとよく、好ましくは 30 nm 以上 35 nm 以下で一桁低下することが好ましい。

【0037】

上記説明したように、結晶粒は離散的に存在する。結晶粒を離散的に存在させるためには、結晶の核生成密度を制御することが必要である。窒素濃度を上記の濃度範囲とすることで、結晶粒の核生成密度を制御し、結晶粒を離散的に存在せしめることが可能である。

【0038】

なお、上記したように結晶核の生成を抑制する不純物元素が高濃度（SIMS によって計測される不純物元素の濃度が概ね $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上）に存在すると、結晶成長も抑制するため、半導体層 106 に含ませる窒素は、半導体層 106 の被形成面にのみ添加し、またはその膜の形成初期にのみ導入する。

【0039】

また、半導体層 106 上にはバッファ層 108 を有する。バッファ層 108 を有することにより、オフ電流を低減することができる。

【0040】

次に、図 1 に示す薄膜トランジスタの作製方法について説明する。薄膜トランジスタでは p 型よりも n 型の方が、キャリアの移動度が高い。また、同一の基板上に形成する薄膜トランジスタを全て同じ極性に統一すると、工程数を抑えることができるため好ましい。そのため、本実施の形態では、n 型の薄膜トランジスタの作製方法について説明する。

【0041】

10

20

30

40

50

まず、基板 100 上にゲート電極層 102 を形成する (図 3 (A) を参照)。

【0042】

基板 100 としては、ガラス基板、セラミック基板の他、本作製工程の処理温度に耐える程度の耐熱性を有するプラスチック基板等を用いることができる。また、基板に透光性を要しない場合には、ステンレス合金等の金属の基板の表面に絶縁層を設けたものを用いてもよい。ガラス基板としては、例えば、バリウムホウケイ酸ガラス、アルミノホウケイ酸ガラス若しくはアルミノケイ酸ガラス等の無アルカリガラス基板を用いるとよい。基板 100 がマザーガラスの場合には、第 1 世代 (例えば、320 mm × 400 mm) から第 7 世代 (1870 mm × 2200 mm)、第 8 世代 (例えば、2200 mm × 2400 mm) のものを用いることができるのみならず、第 9 世代 (例えば、2400 mm × 2800 mm)、第 10 世代 (例えば、2950 mm × 3400 mm) のものをも用いることができる。

10

【0043】

ゲート電極層 102 は、モリブデン、チタン、クロム、タンタル、タングステン、アルミニウム、銅、ネオジム、スカンジウム等の金属又はこれらを主成分とする合金を用いて、単層で又は積層して形成することができる。アルミニウムを用いる場合には、タンタルを添加して合金化した Al - Ta 合金を用いるとヒロックが抑制されるため、好ましい。また、ネオジムを添加して合金化した Al - Nd 合金を用いると、抵抗を抑えつつヒロックの発生を抑制することができるため、更に好ましい。また、リン等の不純物元素をドーピングした多結晶シリコンに代表される半導体や AgPdCu 合金を用いてもよい。例えば、アルミニウム層上にモリブデン層が積層された二層の積層構造、または銅層上にモリブデン層を積層した二層構造、または銅層上に窒化チタン層若しくは窒化タンタルを積層した二層構造とすることが好ましい。電気的抵抗が低い層上にバリア層として機能する金属層が積層されることで、電気的抵抗が低く、且つ金属層から半導体層への金属元素の拡散を防止することができる。または、窒化チタン層とモリブデン層とから構成される二層の積層構造、または膜厚 50 nm のタングステン層と膜厚 500 nm のアルミニウムとシリコンの合金からなる層と膜厚 30 nm の窒化チタン層とを積層した三層の積層構造としてもよい。また、三層の積層構造とする場合には、第 1 の導電層のタングステン層に代えて窒化タングステン層を用いてもよいし、第 2 の導電層のアルミニウムとシリコンの合金からなる層に代えてアルミニウムとチタンの合金からなる層を用いてもよいし、第 3 の導電層の窒化チタン層に代えてチタン層を用いてもよい。例えば、Al - Nd 合金からなる層上にモリブデン層を積層して形成すると、耐熱性に優れ、且つ電気的に低抵抗な導電層を形成することができる。

20

30

【0044】

ゲート電極層 102 は、基板 100 上に、スパッタリング法又は真空蒸着法等を用いて上記した材料により導電層を形成し、該導電層上にフォトリソグラフィ法又はインクジェット法等により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層をエッチングして形成することができる。また、銀、金又は銅等の導電性ナノペーストをインクジェット法により基板上に吐出し、焼成することで形成することもできる。なお、上記の金属の窒化物層を、基板 100 と、ゲート電極層 102 との間に設けてもよい。ここでは、基板 100 上に導電層を形成し、フォトマスクを用いて形成したレジストマスクによりエッチングする。

40

【0045】

なお、ゲート電極層 102 の側面は、テーパ形状とすることが好ましい。ゲート電極層 102 上には、後の工程で半導体層及び配線層等を形成するので、段差の箇所における形成不良を防止するためである。ゲート電極層 102 の側面をテーパ形状にするためには、レジストマスクを後退させつつエッチングを行えばよい。例えば、エッチングガス (例えば、塩素ガス) に酸素ガスを含ませることでレジストを後退させつつエッチングを行うことが可能である。

【0046】

50

また、ゲート電極層 102 を形成する工程によりゲート配線（走査線）も同時に形成することができる。更には、画素部が有する容量線も同時に形成することができる。なお、走査線とは画素を選択する配線をいい、容量線とは画素の保持容量の一方の電極に接続された配線をいう。ただし、これに限定されず、ゲート配線及び容量配線の一方又は双方と、ゲート電極層 102 とは別に設けてもよい。

【0047】

次に、ゲート電極層 102 を覆ってゲート絶縁層 104 を形成する（図 3（B）を参照）。ゲート絶縁層 104 は、CVD 法又はスパッタリング法等を用いて、酸化シリコン、窒化シリコン、酸化窒化シリコン又は窒化酸化シリコンを用いて、単層で又は積層して形成することができる。また、ゲート絶縁層 104 は、高周波数（1 GHz 程度）のマイクロ波プラズマ CVD 装置を用いて形成することが好ましい。マイクロ波プラズマ CVD 装置を用いて高い周波数によりゲート絶縁層 104 を形成すると、ゲート電極と、ドレイン電極及びソース電極との間の耐圧を向上させることができるため、信頼性の高い薄膜トランジスタを得ることができる。また、ゲート絶縁層 104 を酸化窒化シリコンにより形成することで、トランジスタの閾値電圧の変動を抑制することができる。

【0048】

なお、本明細書中において、酸化窒化シリコンとは、その組成として、窒素よりも酸素の含有量が多いものであって、好ましくは、ラザフォード後方散乱法（RBS: Rutherford Backscattering Spectrometry）及び水素前方散乱法（HFS: Hydrogen Forward Scattering）を用いて測定した場合に、組成範囲として酸素が 50～70 原子%、窒素が 0.5～15 原子%、シリコンが 25～35 原子%、水素が 0.1～10 原子%の範囲で含まれるものをいう。また、窒化酸化シリコンとは、その組成として、酸素よりも窒素の含有量が多いものであって、好ましくは、RBS 及び HFS を用いて測定した場合に、組成範囲として酸素が 5～30 原子%、窒素が 20～55 原子%、シリコンが 25～35 原子%、水素が 10～30 原子%の範囲で含まれるものをいう。ただし、酸化窒化シリコン又は窒化酸化シリコンを構成する原子の合計を 100 原子%としたとき、窒素、酸素、シリコン及び水素の含有比率が上記の範囲内に含まれるものとする。

【0049】

なお、ゲート絶縁層 104 を窒化シリコンにより形成した場合には、ゲート絶縁層 104 上に薄い酸化窒化シリコン層を設けることで、薄膜トランジスタの動作初期に発生する劣化を抑制することができる。ここで、酸化窒化シリコン層は極薄く形成すればよく、1 nm 以上であればよい。好ましくは 1 nm 以上 3 nm 以下とする。

【0050】

次に、半導体層 106 の形成方法について説明する。半導体層 106 は、2 nm 以上 60 nm 以下、好ましくは 10 nm 以上 30 nm 以下の厚さで形成するとよい。

【0051】

また、上記したように、半導体層 106 は、逆錐形の結晶粒を有する。逆錐形の結晶粒は、例えば、半導体層 106 の酸素濃度を低くし、窒素濃度を酸素濃度よりも高くし、窒素濃度が結晶粒の成長方向に従って低下していくことで、結晶粒の核生成を制御しつつ形成することができる。ここで、窒素濃度は酸素濃度よりも一桁以上高いことが好ましい。より具体的には、ゲート絶縁層 104 と半導体層 106 の界面における、SIMS によって計測される酸素の濃度を $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下とし、窒素の濃度を $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以下とする。また、酸素濃度を低く抑えて、窒素濃度を酸素濃度よりも高くして形成する。

【0052】

酸素濃度を低く抑え、窒素濃度を酸素濃度よりも高くする手段の一は、半導体層 106 の形成前に、ゲート絶縁層 104 の表面に多量の窒素を存在させることである。ゲート絶縁層 104 の表面に多量の窒素を存在させるためには、ゲート絶縁層 104 の形成後、半導体層 106 の形成前に、ゲート絶縁層 104 の表面を、窒素を含むガスによって生成さ

10

20

30

40

50

れるプラズマにより処理すればよい。ここで、窒素を含むガスとしては、例えばアンモニア、窒素、塩化窒素、フッ化窒素等が挙げられる。

【 0 0 5 3 】

または、酸素濃度を低く抑え、窒素濃度を酸素濃度よりも高くする異なる手段の一は、半導体層 1 0 6 に接するゲート絶縁層 1 0 4 に、高濃度に窒素を含ませることである。従って、ゲート絶縁層 1 0 4 を窒化シリコンにより形成することである。なお、この手段については実施の形態 2 にて説明する。

【 0 0 5 4 】

または、酸素濃度を低く抑え、窒素濃度を酸素濃度よりも高くする異なる手段の一は、半導体層 1 0 6 の形成に用いる処理室（チャンバー）の内壁を、高濃度に窒素を含む膜により覆うことである。高濃度に窒素を含む材料として、例えば窒化シリコンが挙げられる。なお、処理室（チャンバー）内壁を覆う高濃度に窒素を含む膜は、ゲート絶縁層 1 0 4 と同時に形成してもよく、工程の簡略化ができるため好ましい。また、この場合には、ゲート絶縁層 1 0 4 の形成に用いる処理室（チャンバー）と半導体層 1 0 6 の形成に用いる処理室（チャンバー）が同一のものとなるため、製造装置が小型化される。なお、この手段については実施の形態 3 にて説明する。

【 0 0 5 5 】

または、酸素濃度を低く抑え、窒素濃度を酸素濃度よりも高くする異なる手段の一は、半導体層 1 0 6 の形成に用いるガスに含まれる酸素の濃度を低く抑え、窒素の濃度を高くすることである。このとき、窒素は半導体層 1 0 6 となる膜の形成初期に用いるガスにのみ供給し、または供給する窒素の量を減少させていけばよい。なお、この手段については実施の形態 4 にて説明する。

【 0 0 5 6 】

なお、酸素濃度を低く抑え、窒素濃度を酸素濃度よりも高くするには、上記手段のいずれかを用いてもよいし、これらを組み合わせて用いてもよい。本実施の形態では、ゲート絶縁層 1 0 4 は窒化シリコン層上に酸化窒化シリコン層を積層した構造とし、ゲート絶縁層 1 0 4 をアンモニアに曝すことで、ゲート絶縁層 1 0 4 の表面に窒素を供給する。

【 0 0 5 7 】

ここで、ゲート絶縁層 1 0 4、半導体層 1 0 6 並びにソース領域及びドレイン領域 1 1 0 の形成の一例について詳細に説明する。これらの層は C V D 法等を用いて形成する。また、ゲート絶縁層 1 0 4 は、窒化シリコン層上に酸化窒化シリコン層を設けた積層構造とする。このような構造とすることで、窒化シリコン層により基板中に含まれる電気的特性に影響を及ぼす元素（基板がガラスである場合にはナトリウム等の元素）が、半導体層 1 0 6 等に侵入することを防止することができる。図 6 は、これらを形成するに際して用いる C V D 装置の模式図を示す。

【 0 0 5 8 】

図 6 に示すプラズマ C V D 装置 1 6 1 は、ガス供給手段 1 5 0 及び排気手段 1 5 1 に接続されている。

【 0 0 5 9 】

図 6 に示すプラズマ C V D 装置 1 6 1 は、処理室 1 4 1 と、ステージ 1 4 2 と、ガス供給部 1 4 3 と、シャワープレート 1 4 4 と、排気口 1 4 5 と、上部電極 1 4 6 と、下部電極 1 4 7 と、交流電源 1 4 8 と、温度制御部 1 4 9 と、を具備する。

【 0 0 6 0 】

処理室 1 4 1 は剛性のある素材で形成され、内部を真空排気できるように構成されている。処理室 1 4 1 には、上部電極 1 4 6 と下部電極 1 4 7 が備えられている。なお、図 6 では、容量結合型（平行平板型）の構成を示しているが、異なる二以上の高周波電力を印加して処理室 1 4 1 の内部にプラズマを生成できるものであれば、誘導結合型など他の構成を適用してもよい。

【 0 0 6 1 】

図 6 に示すプラズマ C V D 装置により処理を行う際には、所定のガスをガス供給部 1 4

10

20

30

40

50

3 から導入する。導入されたガスは、シャワープレート 144 を通って、処理室 141 に導入される。上部電極 146 と下部電極 147 に接続された交流電源 148 により、高周波電力が印加されて処理室 141 内のガスが励起されてプラズマが生成される。また、真空ポンプに接続された排気口 145 によって、処理室 141 内のガスが排気されている。また、温度制御部 149 によって、被処理物を加熱しながらプラズマ処理することができる。

【0062】

ガス供給手段 150 は、反応ガスが充填されるシリンダ 152、圧力調整弁 153、ストップバルブ 154、マスフローコントローラ 155 などで構成されている。処理室 141 内において、上部電極 146 と基板 100 との間には板状に加工され、複数の細孔が設けられたシャワープレート 144 を有する。上部電極 146 に導入される反応ガスは、内部の中

10

【0063】

処理室 141 に接続される排気手段 151 には、真空排気と、反応ガスを流す場合において処理室 141 内を所定の圧力に保持するように制御する機能が含まれている。排気手段 151 の構成としては、バタフライバルブ 156、コンダクタンスバルブ 157、ターボ分子ポンプ 158、ドライポンプ 159 などが含まれる。バタフライバルブ 156 とコンダクタンスバルブ 157 を並列に配置する場合には、バタフライバルブ 156 を閉じてコンダクタンスバルブ 157 を動作させることで、反応ガスの排気速度を制御して処理室 141 の圧力を所定の範囲に保つことができる。また、コンダクタンスの大きいバタフ

20

【0064】

なお、処理室 141 を 10^{-5} Pa よりも低い圧力まで超高真空排気する場合には、クライオポンプ 160 を併用することが好ましい。その他、到達真空度として超高真空まで排気する場合には、処理室 141 の内壁を鏡面加工し、内壁からのガス放出を低減するためにベーキング用のヒータを設けても良い。

【0065】

なお、図 6 に示すように、処理室 141 の全体を覆って膜が形成（被着）されるようにプレコート処理を行うと、処理室 141 内壁に付着した不純物元素、または処理室 141（チャンバー）内壁を構成する不純物元素の素子への混入を防止することができる。本実施の形態では、プレコート処理はシリコンを主成分とする膜を形成すればよく、例えば、非晶質シリコン等を形成すればよい。ただし、この膜には酸素が含まれないことが好ましい。

30

【0066】

ゲート絶縁層 104 の形成からドナーとなる不純物元素を含む半導体層 109（一導電型を付与する不純物元素を含む半導体層ともいう。）の形成までについて、図 7 を参照して以下に説明する。なお、ゲート絶縁層 104 は、窒化シリコン層上に酸化窒化シリコン層を積層して形成する。

【0067】

まず、ゲート電極層 102 が形成された基板を CVD 装置の処理室 141 内にて加熱し、窒化シリコン層を形成するための材料ガスを処理室 141 内に導入する（図 7 の予備処理 A1）。ここでは、一例として、 SiH_4 の流量を 40 sccm 、 H_2 の流量を 500 sccm 、 N_2 の流量を 550 sccm 、 NH_3 の流量を 140 sccm として処理室 141 内に材料ガスを導入して流量を安定させ、処理室 141 内の圧力を 100 Pa 、基板の温度を 280°C とし、 370 W でプラズマ放電を行うことで、約 110 nm の窒化シリコン層を形成する。その後、 SiH_4 の導入のみを停止して数秒後にプラズマの放電を停止させる（図 7 の SiN_x 層形成 B1）。処理室 141 内に SiH_4 が存在する状態でプラズマの放電を停止させると、シリコンを主成分とする粒状物又は粉状物が形成されてしまい、歩留まりを低下させる原因となるためである。なお、 N_2 ガス及び NH_3 ガスはいずれか一方を用いればよく、これらを混合して用いる場合には流量を適宜調整するとよい

40

50

。また、 H_2 ガスの導入及び流量は適宜調整し、不要な場合には導入しなくてもよい。

【0068】

次に、窒化シリコン層の形成に用いた材料ガスを排気し、酸化窒化シリコン層の形成に用いる材料ガスを処理室141内に導入する(図7のガス置換C1)。ここでは、一例として、 SiH_4 の流量を30sccm、 N_2O の流量を1200sccmとし、材料ガスを導入して流量を安定させ、処理室141内の圧力を40Pa、基板の温度を280とし、50Wのプラズマ放電を行うことで、約110nmの酸化窒化シリコン層を形成する。その後、窒化シリコン層と同様に、 SiH_4 の導入のみを停止し、その数秒後にプラズマの放電を停止させる(図7の SiO_xNy 層形成D1)。

【0069】

上記の工程により、ゲート絶縁層104を形成することができる。ゲート絶縁層104の形成後、基板100を処理室141から搬出する(図7のアンロードE1)。

【0070】

基板100を処理室141から搬出した後、処理室141に、例えば NF_3 ガスを導入し、処理室141内をクリーニングする(図7のクリーニング処理F1)。その後、処理室141に非晶質シリコン層を形成する処理を行う(図7のプレコート処理G1)。後に説明するバッファ層107の形成と同様に行うが、水素は処理室141内に導入してもよいし、導入しなくてもよい。この処理により、処理室141の内壁に非晶質シリコン層が形成される。または、窒化シリコンによりプレコート処理を行ってもよい。この場合の処理は、ゲート絶縁層104を形成する処理と同様である。その後、基板100を処理室141内に搬入する(図7のロードH1)。

【0071】

次に、ゲート絶縁層104の表面に窒素を供給する。ここでは、ゲート絶縁層104をアンモニアガスに曝すことで窒素を供給する(図7のフラッシュ処理I1)。また、アンモニアガスには水素を含ませてもよい。ここでは、一例として、処理室141内の圧力は概ね20Pa~30Pa、基板の温度は280とし、処理時間は60秒間とするとよい。なお、本工程の処理ではアンモニアガスに曝すのみであるが、プラズマ処理を行ってもよい。その後、上記処理に用いたガスを排気し、半導体層105の形成に用いる材料ガスを処理室141内に導入する(図7のガス置換J1)。

【0072】

次に、窒素が供給されたゲート絶縁層104上の全面に半導体層105を形成する。半導体層105は、後の工程でパターン形成されて半導体層106となるものである。まず、半導体層105の形成に用いる材料ガスを処理室141内に導入する。ここでは、一例として、 SiH_4 の流量を10sccm、 H_2 の流量を1500sccmとして材料ガスを導入して安定させ、処理室141内の圧力を280Pa、基板の温度を280とし、50Wのプラズマ放電を行うことで、約50nmの半導体層を形成する。その後、上記した窒化シリコン層等の形成と同様に、 SiH_4 の導入のみを停止し、その数秒後にプラズマの放電を停止させる(図7の半導体層形成K1)。その後、これらのガスを排気し、バッファ層107となるシリコン層の形成に用いるガスを導入する(図7のガス置換L1)。なお、これに限定されず、ガスの置換は必ずしも行わなくてもよい。

【0073】

上記の例において、半導体層105の形成に用いられる材料ガスでは、 SiH_4 の流量に対する H_2 の流量を150倍としている。そのため、シリコンは徐々に堆積される。

【0074】

本実施の形態におけるゲート絶縁層104の表面には窒素が供給されている。上記したように、窒素はシリコンの結晶核の生成を抑制する。そのため、半導体層105の形成の初期段階ではシリコンの結晶核が生成されない。半導体層105の形成初期段階で形成されるこの層が、図2に示す第1の領域120となる。半導体層105は一の条件により形成するため、第1の領域120と第2の領域122は同一の条件により形成されるものである。上記したようにゲート絶縁層104の表面に窒素を供給し、該表面上に半導体層1

10

20

30

40

50

05を形成することで、窒素を含む半導体層（図2に示す第1の領域120）が形成される。半導体層105において、窒素の濃度はゲート絶縁膜との界面から離れるにつれて低下し、窒素の濃度が一定の値以下となると、結晶核が生成される。その後、その結晶核が成長し、結晶粒121が形成される。

【0075】

次に、半導体層105上の全面にバッファ層107を形成する。バッファ層107は、後の工程でパターン形成されてバッファ層108となるものである。ここで、バッファ層107は、非晶質半導体により形成する。まず、バッファ層107の形成に用いる材料ガスを処理室141内に導入する。ここでは、一例として、 SiH_4 の流量を280 sccm、 H_2 の流量を300 sccmとして材料ガスを導入して安定させ、処理室141内の圧力を170 Pa、基板の温度を280 とし、60 Wのプラズマ放電を行うことで、約150 nmの半導体層を形成する。その後、上記した窒化シリコン層等の形成と同様に、 SiH_4 の導入のみを停止し、その数秒後にプラズマの放電を停止させる（図7のa - Si層形成M1）。その後、これらのガスを排気し、ドナーとなる不純物元素を含む半導体層109の形成に用いるガスを導入する（図7のガス置換N1）。

【0076】

次に、バッファ層107上の全面にドナーとなる不純物元素を含む半導体層109を形成する。ドナーとなる不純物元素を含む半導体層109は、後の工程でパターン形成されてソース領域及びドレイン領域110となるものである。まず、ドナーとなる不純物元素を含む半導体層109の形成に用いる材料ガスを処理室141内に導入する。ここでは、一例として、 SiH_4 の流量を100 sccm、 PH_3 を H_2 により0.5 vol%まで希釈した混合ガスの流量を170 sccmとして材料ガスを導入して安定させる。処理室141内の圧力を280 Pa、基板の温度を280 とし、60 Wのプラズマ放電を行うことで、約50 nmの半導体層を形成する。その後、上記した窒化シリコン層等の成膜と同様に、 SiH_4 の導入のみを停止し、その数秒後にプラズマの放電を停止させる（図7の不純物半導体層形成O1）。その後、これらのガスを排気する（図7の排気P1）。

【0077】

以上説明したように、ドナーとなる不純物元素を含む半導体層109までを形成することができる（図4（A）を参照）。

【0078】

次に、ドナーとなる不純物元素を含む半導体層109上に導電層111を形成する。

【0079】

導電層111は、アルミニウム、銅、チタン、ネオジウム、スカンジウム、モリブデン、クロム、タンタル若しくはタングステン等により単層で、又は積層して形成することができる。または、ヒロック防止元素が添加されたアルミニウム合金（ゲート電極層102に用いることができるAl - Nd合金等）により形成してもよい。または、ドナーとなる不純物元素を添加した結晶性シリコンを用いてもよい。ドナーとなる不純物元素が添加された結晶性シリコンと接する側の層を、チタン、タンタル、モリブデン、タングステン又はこれらの元素の窒化物により形成し、その上にアルミニウム又はアルミニウム合金を形成した積層構造としても良い。更には、アルミニウム又はアルミニウム合金を、チタン、タンタル、モリブデン、タングステン又はこれらの元素の窒化物で挟んだ積層構造としてもよい。例えば、導電層111として、アルミニウム層をモリブデン層で挟んだ三層の積層構造とするとよい。

【0080】

導電層111は、CVD法、スパッタリング法又は真空蒸着法を用いて形成する。また、導電層111は、銀、金又は銅等の導電性ナノペーストを用いてスクリーン印刷法又はインクジェット法を用いて吐出し、焼成することで形成しても良い。

【0081】

次に、導電層111上に第1のレジストマスク131を形成する（図4（B）を参照）。第1のレジストマスク131は厚さの異なる二の領域を有し、多階調マスクを用いて形

10

20

30

40

50

成することができる。多階調マスクを用いることで、使用するフォトマスクの枚数が低減され、作製工程数が減少するため好ましい。本実施の形態において、半導体層 105、バッファ層 107、ドナーとなる不純物元素を含む半導体層 109、及び導電層 111のパターンを形成する工程と、ソース領域とドレイン領域を分離する工程において、多階調マスクを用いて形成したレジストマスクを用いることができる。

【0082】

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であり、代表的には、露光領域、半露光領域及び未露光領域の３段階の光量で露光を行う。多階調マスクを用いることで、一度の露光及び現像工程によって、複数（代表的には二種類）の厚さを有するレジストマスクを形成することができる。そのため、多階調マスクを用いることで、フォトマスクの枚数を削減することができる。

10

【0083】

図 8（A - 1）及び図 8（B - 1）は、代表的な多階調マスクの断面図を示す。図 8（A - 1）にはグレートーンマスク 180を示し、図 8（B - 1）にはハーフトーンマスク 185を示す。

【0084】

図 8（A - 1）に示すグレートーンマスク 180は、透光性を有する基板 181上に遮光膜により形成された遮光部 182、及び遮光膜のパターンにより設けられた回折格子部 183で構成されている。

【0085】

回折格子部 183は、露光に用いる光の解像度限界以下の間隔で設けられたスリット、ドット又はメッシュ等を有することで、光の透過量を制御する。なお、回折格子部 183に設けられるスリット、ドット又はメッシュは周期的なものであってもよいし、非周期的なものであってもよい。

20

【0086】

透光性を有する基板 181としては、石英等を用いることができる。遮光部 182及び回折格子部 183を構成する遮光膜は、金属あるいは金属酸化物を用いて形成すればよく、好ましくはクロム又は酸化クロム等により設けられる。

【0087】

グレートーンマスク 180に露光するための光を照射した場合、図 8（A - 2）に示すように、遮光部 182に重畳する領域における透光率は 0%となり、遮光部 182又は回折格子部 183が設けられていない領域における透光率は 100%となる。また、回折格子部 183における透光率は、概ね 10～70%の範囲であり、回折格子のスリット、ドット又はメッシュの間隔等により調整可能である。

30

【0088】

図 8（B - 1）に示すハーフトーンマスク 185は、透光性を有する基板 186上に半透光膜により形成された半透光部 187、及び遮光膜により形成された遮光部 188で構成されている。

【0089】

半透光部 187は、MoSiN、MoSi、MoSiO、MoSiON、CrSi等の膜を用いて形成することができる。遮光部 188は、グレートーンマスクの遮光膜と同様の金属あるいは金属酸化物を用いて形成すればよく、好ましくはクロム又は酸化クロム等により設けられる。

40

【0090】

ハーフトーンマスク 185に露光するための光を照射した場合、図 8（B - 2）に示すように、遮光部 188に重畳する領域における透光率は 0%となり、遮光部 188又は半透光部 187が設けられていない領域における透光率は 100%となる。また、半透光部 187における透光率は、概ね 10～70%の範囲であり、形成する材料の種類又は形成する膜厚等により、調整可能である。

【0091】

50

多階調マスクを用いて露光して現像を行うことで、膜厚の異なる領域を有するレジストマスクを形成することができる。

【0092】

次に、第1のレジストマスク131を用いて半導体層105、パッファ層107、ドナーとなる不純物元素を含む半導体層109、及び導電層111をエッチングする。この工程により、半導体層105、パッファ層107、ドナーとなる不純物元素を含む半導体層109及び導電層111を素子毎に分離する(図4(C)を参照)。

【0093】

ここで、第1のレジストマスク131を後退させて第2のレジストマスク132を形成する。レジストマスクの後退には、酸素プラズマによるアッシングを用いればよい。

10

【0094】

次に、第2のレジストマスク132を用いて導電層111をエッチングし、配線層112を形成する(図5(A)を参照)。配線層112は、ソース電極及びドレイン電極を構成する。導電層111のエッチングは、ウエットエッチングを用いることが好ましい。ウエットエッチングにより、導電層が選択的にエッチングされ、導電層の側面は第2のレジストマスク132よりも内側に後退し、配線層112が形成される。従って、配線層112の側面と、エッチングされたドナーとなる不純物元素を含む半導体層109の側面は一致せず、配線層112の側面の外側に、ソース領域及びドレイン領域110の側面が形成されることになる。配線層112は、ソース電極及びドレイン電極のみならず信号線としても機能する。ただし、これに限定されず、信号線と配線層112とは別に設けてもよい。

20

【0095】

次に、第2のレジストマスク132が形成された状態で、パッファ層107の一部及びドナーとなる不純物元素を含む半導体層109をエッチングして、パッファ層108、並びにソース領域及びドレイン領域110を形成する(図5(B)を参照)。

【0096】

次に、第2のレジストマスク132が形成された状態で、ドライエッチングを行うとよい。ここで、ドライエッチングの条件は、露出しているパッファ層108にダメージが入らず、且つパッファ層108に対するエッチングレートが低い条件を用いる。つまり、露出しているパッファ層108の表面にほとんどダメージを与えず、且つ露出しているパッファ層108の膜厚がほとんど減少しない条件を用いる。エッチングガスとしては、 Cl_2 ガス等を用いることができる。また、エッチング方法については特に限定はなく、ICP方式、CCP方式、ECR方式、反応性イオンエッチング(RIE: Reactive Ion Etching)方式等を用いることができる。

30

【0097】

ここで、用いることのできるドライエッチング条件の一例として、 Cl_2 ガスの流量を100sccm、チャンパー内の圧力を0.67Pa、下部電極温度を-10とし、上部電極のコイルに2000WのRF(13.56MHz)電力を投入してプラズマを生成し、基板100側には電力を投入せず0Wとして(すなわち、無バイアスとして)、30秒間のエッチングを行う。チャンパー内壁の温度は約80とすることが好ましい。

40

【0098】

次に、第2のレジストマスク132が形成された状態でプラズマ処理を行うとよい。ここで、プラズマ処理は、例えば水プラズマにより行うとよい。

【0099】

水プラズマ処理は、反応空間に水蒸気(H_2O 蒸気)に代表される、水を主成分とするガスを導入し、プラズマを生成して、行うことができる。水プラズマにより第2のレジストマスク132を除去することができる。また、水プラズマ処理、あるいは、大気に曝した後に水プラズマ処理を行うことで、露出しているパッファ層108上に酸化膜が形成されることもある。

【0100】

50

なお、水プラズマ処理を用いることなく露出しているバッファ層 108 にダメージが入らず、且つバッファ層 108 に対するエッチングレートが低い条件でドライエッチングを行ってもよい。

【0101】

上記したように、一对のソース領域及びドレイン領域 110 を形成した後に、バッファ層 108 にダメージを与えない条件で更なるドライエッチングを行うことで、露出したバッファ層 108 上に存在する残渣などの不純物元素を除去することができる。また、ドライエッチングに続けて水プラズマ処理を行うことで、第 2 のレジストマスク 132 を除去することも可能である。水プラズマ処理を行うことで、ソース領域とドレイン領域との間の絶縁を確実なものにすることができ、完成する薄膜トランジスタのオフ電流を低減し、オン電流を向上させ、電気的特性のばらつきを低減することができる。

10

【0102】

なお、プラズマ処理等の工程は上記の順番に限定されず、第 2 のレジストマスク 132 を除去した後に、無バイアスでのエッチングや、プラズマ処理を行ってもよい。

【0103】

以上説明したように、本実施の形態に係る薄膜トランジスタを作製することができる（図 5（B）を参照）。本実施の形態に係る薄膜トランジスタは、液晶表示装置に代表される表示装置の画素に設けられるスイッチングトランジスタに適用することができる。この場合、この薄膜トランジスタを覆って、開口部を有する絶縁層 114 を形成し、該開口部において配線層 112 により構成されるソース電極及びドレイン電極と接続されるように画素電極層 116 を形成する（図 5（C）を参照）。この開口部は、フォトリソグラフィ法により形成することができる。その後、当該開口部を介して接続されるように、絶縁層 114 上に画素電極層 116 を設ける。このようにして、図 1 に示す表示装置の画素に設けられるスイッチングトランジスタを作製することができる。

20

【0104】

なお、絶縁層 114 は、ゲート絶縁層 104 と同様に形成することができる。絶縁層 114 は、大気中に浮遊する有機物、金属又は水蒸気等の汚染源となりうる不純物元素の侵入を防ぐことができるよう、緻密な窒化シリコンにより設けることが好ましい。

【0105】

なお、画素電極層 116 は、透光性を有する導電性高分子（導電性ポリマーともいう。）を含む導電性組成物を用いて形成することができる。画素電極層 116 は、シート抵抗が $10000 \text{ } \Omega / \text{cm}^2$ 以下であって、且つ波長 550 nm 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が $0.1 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$ 以下であることが好ましい。

30

【0106】

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、ポリアニリン若しくはその誘導体、ポリピロール若しくはその誘導体、ポリチオフェン若しくはその誘導体、又はこれらの 2 種以上の共重合体等が挙げられる。

【0107】

画素電極層 116 は、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（以下、ITO と示す。）、インジウム亜鉛酸化物、または酸化シリコンを添加したインジウム錫酸化物等を用いて形成することができる。

40

【0108】

画素電極層 116 は、配線層 112 等と同様に、フォトリソグラフィ法を用いてエッチングを行い、パターン形成すればよい。

【0109】

なお、図示していないが、絶縁層 114 と画素電極層 116 との間に、スピニング法等により形成した有機樹脂からなる絶縁層を有していても良い。

50

【0110】

以上、本実施の形態にて説明したように、オン電流が高く、オフ電流が低い薄膜トランジスタを得ることができる。

【0111】

(実施の形態2)

本実施の形態では、図1に示す薄膜トランジスタの作製方法であって、実施の形態1とは異なるものについて説明する。本実施の形態では、実施の形態1と同様に、逆錐形の形状を有する結晶粒を含む半導体層を形成する。ただし、半導体層に窒素を含ませる手段が異なる。

【0112】

本実施の形態では、半導体層に接するゲート絶縁層を窒化シリコンにより形成することで、半導体層の窒素濃度を制御し、逆錐形の形状を有する結晶粒を含む半導体層を形成する。ゲート絶縁層104からドナーとなる不純物元素を含む半導体層109の形成までについて、図9を参照して以下に説明する。

【0113】

まず、ゲート電極層102が形成された基板をCVD装置の処理室141内にて加熱し、窒化シリコン層の形成に用いる材料ガスを処理室141内に導入する(図9の予備処理A2)。ここでは、一例として、 SiH_4 の流量を40 sccm、 H_2 の流量を500 sccm、 N_2 の流量を550 sccm、 NH_3 の流量を140 sccmとして材料ガスを導入して流量を安定させ、処理室141内の圧力を100 Pa、基板の温度を280 とし、370 Wのプラズマ放電を行うことで、約300 nmの窒化シリコン層を形成する。その後、 SiH_4 の導入のみを停止して数秒後にプラズマの放電を停止させる(図9の SiN_x 層形成B2)。なお、 N_2 ガス及び NH_3 ガスはいずれか一方を用いればよく、これらを混合して用いる場合には流量を適宜調整するとよい。また、 H_2 ガスの導入及び流量は適宜調整し、不要な場合には導入しなくてもよい。

【0114】

次に、窒化シリコン層の形成に用いた材料ガスを排気し、半導体層105の形成に用いる材料ガスを処理室141内に導入する(図9のガス置換C2)。

【0115】

次に、ゲート絶縁層104上の全面に半導体層105を形成する。半導体層105は、後の工程でパターン形成されて半導体層106となるものである。まず、半導体層105の形成に用いる材料ガスを処理室141内に導入する。ここでは、一例として、 SiH_4 の流量を10 sccm、 H_2 の流量を1500 sccmとして材料ガスを導入して流量を安定させ、処理室141内の圧力を280 Pa、基板の温度を280 とし、50 Wのプラズマ放電を行うことで、約50 nmの半導体層を形成する。その後、上記した窒化シリコン層等の形成と同様に、 SiH_4 の導入のみを停止し、その数秒後にプラズマの放電を停止させる(図9の半導体層形成D2)。その後、これらのガスを排気し、バッファ層107の形成に用いるガスを導入する(図9のガス置換E2)。なお、これに限定されず、ガスの置換は必ずしも行わなくてもよい。

【0116】

上記の例において、半導体層105の形成に用いられる材料ガスでは、 SiH_4 の流量に対する H_2 の流量を150倍としており、シリコンは徐々に堆積される。

【0117】

本実施の形態のゲート絶縁層104において、少なくとも半導体層105に接する最上層は窒化シリコンで形成されているため、ゲート絶縁層104の表面には多量の窒素が存在する。上記したように、窒素はシリコンの結晶の核生成を抑制する。そのため、半導体層105の形成の初期段階ではシリコンの結晶核が生成されない。半導体層105の形成の初期段階で形成されるこの層が、図2に示す第1の領域120となる。半導体層105は一の条件により形成するため、第1の領域120と第2の領域122は同じ条件により形成される。上記したようにゲート絶縁層104は窒化シリコンで形成されているため、

10

20

30

40

50

ゲート絶縁層 104 上の半導体層 105 は窒素を含む (図 2 に示す第 1 の領域 120) 。半導体層 105 において、窒素の濃度はゲート絶縁層 104 との界面から離れるにつれて低下し、窒素の濃度が一定の値以下となると、結晶核が生成される。その後、その結晶核が成長し、結晶粒 121 が形成される。なお、ここで結晶粒 121 の成長の起点となる結晶核の生成位置において、SIMS によって計測される窒素の濃度は $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $7 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下となる。

【0118】

なお、ここで、結晶核の生成を抑制する不純物元素は、シリコン中であって、キャリアトラップを生成しない不純物元素 (例えば、窒素) を選択する。一方、シリコンのダングリングボンドを生成する不純物元素 (例えば、酸素) の濃度は低減させる。従って、窒素濃度を低減させずに酸素濃度を低減させるとよい。具体的には、SIMS によって計測される酸素の濃度が $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下となるようにするとよい。

【0119】

次に、半導体層 105 上の全面にバッファ層 107 を形成する。バッファ層 107 は、後の工程でパターン形成されてバッファ層 108 となるものである。ここで、バッファ層 107 は、非晶質半導体により形成する。まず、バッファ層 107 の形成に用いる材料ガスを処理室 141 内に導入する。ここでは、一例として、 SiH_4 の流量を 280 sccm 、 H_2 の流量を 300 sccm として材料ガスを導入して安定させ、処理室 141 内の圧力を 170 Pa 、基板の温度を 280 とし、 60 W のプラズマ放電を行うことで、約 150 nm のバッファ層を形成する。その後、上記した窒化シリコン層等の形成と同様に、 SiH_4 の導入のみを停止し、その数秒後にプラズマの放電を停止させる (図 9 の a - Si 層形成 F2) 。その後、これらのガスを排気し、ドナーとなる不純物元素を含む半導体層 109 の形成に用いるガスを導入する (図 9 のガス置換 G2) 。

【0120】

次に、バッファ層 107 上の全面にドナーとなる不純物元素を含む半導体層 109 を形成する。ドナーとなる不純物元素を含む半導体層 109 は、後の工程でパターン形成されて、ソース領域及びドレイン領域 110 となるものである。まず、ドナーとなる不純物元素を含む半導体層 109 の形成に用いる材料ガスを処理室 141 内に導入する。ここでは、一例として、 SiH_4 の流量を 100 sccm 、 PH_3 を H_2 により 0.5 vol\% まで希釈した混合ガスの流量を 170 sccm として材料ガスを導入して安定させ、処理室 141 内の圧力を 280 Pa 、基板の温度を 280 とし、 60 W のプラズマ放電を行うことで、約 50 nm のドナーとなる不純物元素を含む半導体層 109 を形成する。その後、上記した窒化シリコン層等の形成と同様に、 SiH_4 の導入のみを停止し、その数秒後にプラズマの放電を停止させる (図 9 の不純物半導体層形成 H2) 。その後、これらのガスを排気する (図 9 の排気 I2) 。

【0121】

上記説明したように、少なくとも半導体層に接するゲート絶縁層の最上層を窒化シリコンにより形成することで、酸素濃度を低く抑え、窒素濃度を酸素濃度よりも高くすることができ、逆錐形の形状を有する結晶粒を含む半導体層を形成することができる。

【0122】

(実施の形態 3)

本実施の形態では、図 1 に示す薄膜トランジスタの作製方法であって、実施の形態 1 及び実施の形態 2 とは異なるものについて説明する。本実施の形態では、実施の形態 1 及び実施の形態 2 と同様に、逆錐形の形状を有する結晶粒を含む半導体層を形成する。ただし、半導体層に窒素を含ませる手段が異なる。

【0123】

本実施の形態では、半導体層の形成前に処理室 141 内をクリーニングし、その後窒化シリコン層によりチャンバー内壁を覆うことで、半導体層に窒素を含ませて、酸素濃度を低く抑え、窒素濃度を酸素濃度よりも高くする。ゲート絶縁層 104 の形成からドナーと

10

20

30

40

50

なる不純物元素を含む半導体層 109 の形成までについて、図 10 を参照して以下に説明する。

【0124】

まず、ゲート電極層 102 が形成された基板を CVD 装置の処理室 141 内（チャンバー内）にて加熱し、窒化シリコン層を形成するための材料ガスを処理室 141 内に導入する（図 10 の予備処理 A3）。ここでは、一例として、 SiH_4 の流量を 40 sccm、 H_2 の流量を 500 sccm、 N_2 の流量を 550 sccm、 NH_3 の流量を 140 sccm として材料ガスを導入して流量を安定させ、処理室 141 内の圧力を 100 Pa、基板の温度を 280 とし、370 W のプラズマ放電を行うことで、約 110 nm の窒化シリコン層を形成する。その後、 SiH_4 の導入のみを停止して数秒後にプラズマの放電を停止させる（図 10 の SiN_x 層形成 B3）。なお、 N_2 ガス及び NH_3 ガスはいずれか一方を用いればよく、これらを混合して用いる場合には流量を適宜調整するとよい。また、 H_2 ガスの導入及び流量は適宜調整し、不要な場合には導入しなくてもよい。

10

【0125】

次に、窒化シリコン層の形成に用いる材料ガスを排気し、酸化窒化シリコン層の形成に用いる材料ガスを処理室 141 内に導入する（図 10 のガス置換 C3）。ここでは、一例として、 SiH_4 の流量を 30 sccm、 N_2O の流量を 1200 sccm とし、材料ガスを導入して安定させ、処理室 141 内の圧力を 40 Pa、基板の温度を 280 とし、50 W のプラズマ放電を行うことで、約 110 nm の酸化窒化シリコン層を形成する。その後、窒化シリコン層と同様に、 SiH_4 の導入のみを停止し、その数秒後にプラズマの放電を停止させる（図 10 の SiO_xN_y 層形成 D3）。

20

【0126】

上記の工程により、ゲート絶縁層 104 を形成することができる。ゲート絶縁層 104 の形成後、基板 100 を処理室 141 から搬出する（図 10 の unload E3）。

【0127】

基板 100 を処理室 141 から搬出後、処理室 141 に NF_3 ガスを導入し、処理室 141 内をクリーニングする（図 10 のクリーニング処理 F3）。その後、ゲート絶縁層 104 と同様に窒化シリコン層を形成する処理を行う（図 10 のプレコート処理 G3）。この処理により、処理室 141 の内壁が窒化シリコン層により覆われる。その後、基板 100 を処理室 141 に搬入し、半導体層 105 の形成に用いる材料ガスを処理室 141 内に導入する（図 10 の load H3）。

30

【0128】

次に、ゲート絶縁層 104 上の全面に半導体層 105 を形成する。半導体層 105 は、後の工程でパターン形成されて半導体層 106 となるものである。まず、半導体層 105 の形成に用いる材料ガスを処理室 141 内に導入する。ここでは、一例として、 SiH_4 の流量を 10 sccm、 H_2 の流量を 1500 sccm として材料ガスを導入して流量を安定させ、処理室 141 内の圧力を 280 Pa、基板の温度を 280 とし、50 W のプラズマ放電を行うことで、約 50 nm の半導体層を形成する。その後、上記した窒化シリコン層等の形成と同様に、 SiH_4 の導入のみを停止し、その数秒後にプラズマの放電を停止させる（図 10 の半導体層形成 I3）。その後、これらのガスを排気し、パッファ層 107 の形成に用いるガスを導入する（図 10 のガス置換 J3）。なお、これに限定されず、ガスの置換は必ずしも行わなくてもよい。

40

【0129】

上記の例において、半導体層 105 の形成に用いられる材料ガスでは、 SiH_4 の流量に対する H_2 の流量を 150 倍としており、シリコンは徐々に堆積される。

【0130】

本実施の形態では、処理室 141 の内壁を覆う窒化シリコン層からゲート絶縁層 104 の表面に窒素が供給される。上記したように、窒素はシリコンの結晶の核生成を抑制する。そのため、半導体層 105 の形成の初期段階ではシリコンの結晶核が生成されない。半導体層 105 形成の初期段階で形成されるこの層が、図 2 に示す第 1 の領域 120 となる

50

。半導体層 105 は一の条件により形成するため、第 1 の領域 120 と第 2 の領域 122 は同じ条件により形成されるものである。上記したようにゲート絶縁層 104 の表面には窒素が供給されているため、窒素を含む半導体層 105 (図 2 に示す第 1 の領域 120) が形成される。半導体層 105 において、窒素の濃度はゲート絶縁層 104 との界面から離れるにつれて低下し、窒素の濃度が一定の値以下となると、結晶核が生成される。その後、その結晶核が成長し、結晶粒 121 が形成される。

【0131】

次に、半導体層 105 上の全面にバッファ層 107 を形成する。バッファ層 107 は、後の工程でパターン形成されてバッファ層 108 となるものである。ここで、バッファ層 107 は、非晶質半導体により形成する。まず、バッファ層 107 の形成に用いる材料ガスを処理室 141 内に導入する。ここでは、一例として、 SiH_4 の流量を 280 sccm 、 H_2 の流量を 300 sccm として材料ガスを導入して安定させ、処理室 141 内の圧力を 170 Pa 、基板の温度を 280 とし、 60 W のプラズマ放電を行うことで、約 150 nm の半導体層を形成する。その後、上記した窒化シリコン層等の形成と同様に、 SiH_4 の導入のみを停止し、その数秒後にプラズマの放電を停止させる (図 10 の a - Si 層形成 K3)。その後、これらのガスを排気し、ドナーとなる不純物元素を含む半導体層 109 の形成に用いるガスを導入する (図 10 のガス置換 L3)。

【0132】

次に、バッファ層 107 上の全面にドナーとなる不純物元素を含む半導体層 109 を形成する。ドナーとなる不純物元素を含む半導体層 109 は、後の工程でパターン形成されてソース領域及びドレイン領域 110 となるものである。まず、ドナーとなる不純物元素を含む半導体層 109 の形成に用いる材料ガスを処理室 141 内に導入する。ここでは、一例として、 SiH_4 の流量を 100 sccm 、 PH_3 を H_2 により 0.5 vol\% まで希釈した混合ガスの流量を 170 sccm として材料ガスを導入して安定させ、処理室 141 内の圧力を 280 Pa 、基板の温度を 280 とし、 60 W のプラズマ放電を行うことで、約 50 nm の半導体層を形成する。その後、上記した窒化シリコン層等の形成と同様に、 SiH_4 の導入のみを停止し、その数秒後にプラズマの放電を停止させる。(図 10 のドナーとなる不純物元素を含む半導体層形成 M3)。その後、これらのガスを排気する (図 10 の排気 N3)。

【0133】

上記説明したように、少なくとも半導体層 105 を形成する直前に処理室 141 の内壁を窒化シリコン層により覆うことで、ゲート絶縁層 104 中の酸素濃度を低く抑え、ゲート絶縁層 104 中の窒素濃度を酸素濃度よりも高くすることが可能であり、逆錐形の形状を有する結晶粒を含む半導体層を形成することができる。

【0134】

また、処理室 141 の内壁を窒化シリコン層により覆うことで、処理室 141 の内壁を構成する元素等が半導体層に混入することをも防ぐことができる。

【0135】

なお、上記の説明では、窒化シリコン層上に酸化窒化シリコン層を積層してゲート絶縁層 104 を形成したため、ゲート絶縁層 104 の形成後にクリーニング処理とプレコート処理を行う形態について説明したが、本実施の形態は、実施の形態 2 と組み合わせて実施してもよい。すなわち、ゲート絶縁層 104 を窒化シリコンにより形成し、ゲート絶縁層 104 の形成がプレコート処理を兼ねていてもよい。ゲート絶縁層 104 の形成がプレコート処理を兼ねることで、工程が簡略化し、スループットを向上させることができる。

【0136】

(実施の形態 4)

本実施の形態では、実施の形態 1 乃至実施の形態 3 とは異なる半導体装置の作製方法について説明する。本実施の形態では、実施の形態 1 と同様に、逆錐形の形状を有する結晶粒を含む半導体層を形成する。ただし、半導体層に窒素を含ませる手段が異なる。

【0137】

本実施の形態では、半導体層の形成初期のガスに窒素を混入させることで、酸素濃度を低く抑え、窒素濃度を酸素濃度よりも高くする。ゲート絶縁層 104 からドナーとなる不純物元素を含む半導体層 109 の形成までについて、図 11 を参照して以下に説明する。

【0138】

まず、ゲート電極層 102 が形成された基板を CVD 装置の処理室 141 内（チャンバー内）にて加熱し、窒化シリコン層の形成に用いる材料ガスを処理室 141 内に導入する（図 11 の予備処理 A4）。ここでは、一例として、 SiH_4 の流量を 40 sccm 、 H_2 の流量を 500 sccm 、 N_2 の流量を 550 sccm 、 NH_3 の流量を 140 sccm として材料ガスを導入して流量を安定させ、処理室 141 内の圧力を 100 Pa 、基板の温度を 280°C とし、 370 W のプラズマ放電を行うことで、約 110 nm の窒化シリコン層を形成する。その後、 SiH_4 の導入のみを停止して数秒後にプラズマの放電を停止させる（図 11 の SiN_x 層形成 B4）。なお、 N_2 ガス及び NH_3 ガスはいずれか一方を用いればよく、これらを混合して用いる場合には流量を適宜調整するとよい。また、 H_2 ガスの導入及び流量は適宜調整し、不要な場合には導入しなくてもよい。

【0139】

次に、窒化シリコン層の形成に用いる材料ガスを排気し、酸化窒化シリコン層の形成に用いる材料ガスを処理室 141 内に導入する（図 11 のガス置換 C4）。ここでは、一例として、 SiH_4 の流量を 30 sccm 、 N_2O の流量を 1200 sccm とし、材料ガスを導入して流量を安定させ、処理室 141 内の圧力を 40 Pa 、基板の温度を 280°C として 50 W のプラズマ放電を行うことで、約 110 nm の酸化窒化シリコン層を形成する。その後、窒化シリコン層と同様に、 SiH_4 の導入のみを停止し、その数秒後にプラズマの放電を停止させる（図 11 の SiO_xNy 層形成 D4）。その後、これらのガスを排気し、半導体層 105 の形成に用いるガスを導入する（図 11 のガス置換 E4）。

【0140】

次に、ゲート絶縁層 104 上の全面に半導体層 105 を形成する。半導体層 105 は、後の工程でパターン形成されて半導体層 106 となるものである。ここでは、一例として、 SiH_4 の流量を 10 sccm 、 H_2 の流量を 1500 sccm 、 N_2 の流量を 1000 sccm として材料ガスを導入して流量を安定させ、処理室 141 内の圧力を 280 Pa 、基板の温度を 280°C とし、 50 W のプラズマ放電を行う。その後、 N_2 の流量のみを 0 として半導体層を成長させて、約 50 nm の半導体層を形成する。その後、上記した窒化シリコン層等の形成と同様に、 SiH_4 の導入のみを停止し、その数秒後にプラズマの放電を停止させる（図 11 の半導体層形成 F4）。その後、これらのガスを排気し、バッファ層 107 の形成に用いるガスを導入する（図 11 のガス置換 G4）。なお、 N_2 に代えて NH_3 を用いてもよい。なお、これに限定されず、ガスの置換は必ずしも行わなくてもよい。

【0141】

上記の例において、半導体層 105 の形成に用いられる材料ガスでは、 SiH_4 の流量に対する H_2 の流量を 150 倍としており、シリコンは徐々に堆積される。

【0142】

本実施の形態における半導体層 105 の形成初期のガスには窒素が含まれている。上記したように、窒素はシリコンの結晶の核生成を抑制する。そのため、半導体層 105 の形成初期の段階ではシリコンの結晶核が生成されない。半導体層 105 の形成初期の段階で形成されるこの層が、図 2 に示す第 1 の領域 120 となる。上記したように半導体層 105 の形成初期のガスには窒素が含まれているので、半導体層 105（図 2 に示す第 1 の領域 120）は窒素を含有する。半導体層 105 において、窒素の濃度はゲート絶縁層 104 との界面から離れるにつれて低下し、窒素の濃度が一定の値以下となると、結晶核が生成される。その後、その結晶核が成長し、結晶粒 121 が形成される。

【0143】

次に、半導体層 105 上の全面にバッファ層 107 を形成する。バッファ層 107 は、後の工程でパターン形成されてバッファ層 108 となるものである。ここで、バッファ層

107は、非晶質半導体により形成する。まず、バッファ層107の形成に用いる材料ガスを処理室141内に導入する。ここでは、一例として、 SiH_4 の流量を280 sccm、 H_2 の流量を300 sccmとして材料ガスを導入して安定させ、処理室141内の圧力を170 Pa、基板の温度を280 とし、60 Wのプラズマ放電を行うことで、約150 nmの半導体層を形成する。その後、上記した窒化シリコン層等の形成と同様に、 SiH_4 の導入のみを停止し、その数秒後にプラズマの放電を停止させる(図11のa-Si層形成H4)。その後、これらのガスを排気し、ドナーとなる不純物元素を含む半導体層109の形成に用いるガスを導入する(図11のガス置換I4)。

【0144】

次に、バッファ層107上の全面にドナーとなる不純物元素を含む半導体層109を形成する。ドナーとなる不純物元素を含む半導体層109は、後の工程でパターン形成されてソース領域及びドレイン領域110となるものである。まず、ドナーとなる不純物元素を含む半導体層109の形成に用いる材料ガスを処理室141内に導入する。ここでは、一例として、 SiH_4 の流量を100 sccm、 PH_3 の流量を H_2 により0.5 vol%まで希釈した混合ガスの流量を170 sccmとして材料ガスを導入して流量を安定させる。処理室141内の圧力を280 Pa、基板の温度を280 とし、60 Wのプラズマ放電を行うことで、約50 nmの半導体層を形成する。その後、上記した窒化シリコン層等の形成と同様に、 SiH_4 の導入のみを停止し、その数秒後にプラズマの放電を停止させる(図11の不純物半導体層形成J4)。その後、これらのガスを排気する(図11の排気K4)。

【0145】

上記説明したように、半導体層の形成初期のガスに窒素を含ませることで、酸素濃度を低く抑え、窒素濃度を酸素濃度よりも高くすることが可能であり、逆錐形の形状を有する結晶粒を含む半導体層を形成することができる。

【0146】

(実施の形態5)

本実施の形態では、薄膜トランジスタの形態の一例について、図面を参照して説明する。本実施の形態では、多階調マスクを用いることなく薄膜トランジスタを形成する。

【0147】

図12は、本実施の形態にかかる薄膜トランジスタの上面図及び断面図を示す。図12に示す薄膜トランジスタは、基板200上にゲート電極層202を有し、ゲート電極層202を覆ってゲート絶縁層204を有し、ゲート絶縁層204上に接して半導体層206を有し、半導体層206上に接してバッファ層208を有する。バッファ層208上の一部に接してソース領域及びドレイン領域210を有する。また、ゲート絶縁層204、並びにソース領域及びドレイン領域210上に接する配線層212を有する。配線層212はソース電極及びドレイン電極を構成する。配線層212上には、保護膜として機能する絶縁層214を有する。また、各層は所望の形状にパターン形成されている。

【0148】

なお、図12に示す薄膜トランジスタは、図1に示す薄膜トランジスタと同様に、液晶表示装置の画素部に設けられる画素トランジスタに適用することができる。そのため、図示した例では、絶縁層214には開口部が設けられ、絶縁層214上には画素電極層216が設けられ、画素電極層216と配線層212とが接続されている。

【0149】

また、ソース電極及びドレイン電極の一方は、U字型(またはコの字型)の形状で設けられ、これがソース電極及びドレイン電極の他方を囲い込んでいる。ソース電極とドレイン電極との距離はほぼ一定に保たれている(図12を参照)。

【0150】

薄膜トランジスタを上記した形状とすることで、該薄膜トランジスタのチャネル幅を大きくすることができ、電流量が増大する。また、電気的特性のばらつきを低減することができる。更には、作製工程におけるマスクパターンのずれによる信頼性の低下を抑制する

10

20

30

40

50

ことができる。ただし、これに限定されず、ソース電極及びドレイン電極の一方は必ずしもU字型でなくともよい。

【0151】

本実施の形態における半導体層206は、実施の形態1における半導体層106と同様の特徴を有し、同様の材料及び方法により形成することができる。また、実施の形態2乃至実施の形態4にて説明したように形成してもよい。従って、本実施の形態では半導体層206の形成に関する詳細な説明は省略する。

【0152】

図12に示す薄膜トランジスタの作製方法について説明する。薄膜トランジスタではp型よりもn型の方が、キャリアの移動度が高い。また、同一の基板上に形成する薄膜トランジスタを全て同じ極性に統一すると、工程数を抑えることができ、好ましい。そのため、本実施の形態では、n型の薄膜トランジスタの作製方法について説明する。

10

【0153】

まず、基板200上にゲート電極層202を形成する(図13(A)を参照)。

【0154】

基板200としては、実施の形態1における基板100と同様のものを用いることができる。

【0155】

ゲート電極層202は、実施の形態1におけるゲート電極層102と同様の材料及び方法により形成することができる。

20

【0156】

次に、ゲート電極層202を覆ってゲート絶縁層204を形成する(図13(B)を参照)。ゲート絶縁層204は、実施の形態1におけるゲート絶縁層104と同様の材料及び方法により形成することができる。

【0157】

ここで、ゲート絶縁層204上に窒素を供給する処理を行ってもよい(図13(C)を参照)。窒素を供給する処理として、実施の形態1にて説明したゲート絶縁層204をN₂ガスに曝す処理が挙げられる。

【0158】

次に、ゲート絶縁層204上に半導体層205、バッファ層207及びドナーとなる不純物元素を含む半導体層209を形成する(図14(A)を参照)。その後、ドナーとなる不純物元素を含む半導体層209上に第1のレジストマスク231を形成する(図14(B)を参照)。

30

【0159】

半導体層205は、実施の形態1における半導体層105と同様に形成することができる。バッファ層207は、実施の形態1におけるバッファ層107と同様に形成することができる。ドナーとなる不純物元素を含む半導体層209は、実施の形態1におけるドナーとなる不純物元素を含む半導体層109と同様に形成することができる。

【0160】

なお、半導体層205は、実施の形態2乃至実施の形態4にて説明した方法により形成してもよい。

40

【0161】

次に、第1のレジストマスク231を用いてバッファ層207及びドナーとなる不純物元素を含む半導体層209をエッチングして島状の半導体層を形成する(図14(C)を参照)。その後、第1のレジストマスク231を除去する(図15(A)を参照)。

【0162】

次に、エッチングされた半導体層205、バッファ層207及びドナーとなる不純物元素を含む半導体層209を覆って導電層211を形成する(図15(B)を参照)。導電層211は、導電層111と同様の材料及び方法により形成することができる。その後、導電層211上に第2のレジストマスク232を形成する(図15(C)を参照)。

50

【 0 1 6 3 】

次に、第2のレジストマスク232を用いて導電層211をエッチングして配線層212を形成する。(図16(A)を参照)。配線層212は、ソース電極及びド레인電極を構成する。導電層211のエッチングは、ウェットエッチングを用いることが好ましい。ウェットエッチングにより、導電層が選択的にエッチングされ、導電層の側面は第2のレジストマスク232よりも内側に後退し、配線層212が形成される。従って、配線層212の側面と、エッチングされたドナーとなる不純物元素を含む半導体層209の側面は一致せず、配線層212の側面の外側に、ソース領域及びド레인領域の側面が形成される。配線層212は、ソース電極及びド레인電極のみならず信号線としても機能する。ただし、これに限定されず、信号線と配線層212とは別に設けてもよい。

10

【 0 1 6 4 】

次に、第2のレジストマスク232を用いて島状半導体層のパッファ層207の一部の上部と、ドナーとなる不純物元素を含む半導体層209をエッチングする(図16(B)を参照)。ここまでで、半導体層206、パッファ層208、並びにソース領域及びド레인領域210が形成される。

【 0 1 6 5 】

次に、実施の形態1と同様に第2のレジストマスク232が形成された状態で、パッファ層208にダメージが入らず、且つパッファ層208に対するエッチングレートが低い条件でドライエッチングを行うとよい。更には、水プラズマ処理により第2のレジストマスク232を除去するとよい。

20

【 0 1 6 6 】

以上の工程により本実施の形態に係る薄膜トランジスタを作製することができる。本実施の形態に係る薄膜トランジスタは、実施の形態1にて説明した薄膜トランジスタと同様に、液晶表示装置に代表される表示装置の画素に設けられるスイッチングトランジスタに適用することができる。そのため、この薄膜トランジスタを覆って、絶縁層214を形成する。絶縁層214には、配線層212により構成されるソース電極及びド레인電極に達するように開口部が形成されている。この開口部は、フォトリソグラフィ法により形成することができる。その後、当該開口部を介して接続されるように、絶縁層214上に画素電極層216を設けると、図12に示す表示装置の画素に設けられるスイッチングトランジスタを作製することができる。

30

【 0 1 6 7 】

なお、絶縁層214は、実施の形態1における絶縁層114と同様に形成することができる。また、画素電極層216は、実施の形態1における画素電極層116と同様に形成することができる。

【 0 1 6 8 】

なお、図示していないが、絶縁層214と画素電極層216との間に、スピコーティング法等により形成した有機樹脂膜からなる絶縁層を有していても良い。

【 0 1 6 9 】

以上、本実施の形態にて説明したように、オン電流が高く、オフ電流が低い薄膜トランジスタを、多階調マスクを用いることなく得ることができる。

40

【 0 1 7 0 】

(実施の形態6)

本実施の形態では、表示装置の一形態として、実施の形態5で示す薄膜トランジスタを有する液晶表示装置について説明する。ここでは、VA(Vertical Alignment)型の液晶表示装置について、図17乃至図19を参照して説明する。VA型とは、液晶パネルの液晶分子の配列を制御する方式の一種をいう。VA型の液晶表示装置では、電圧が印加されていないときにパネル面に対して液晶分子が垂直方向を向く。本実施の形態では、特に画素(ピクセル)をいくつかの領域(サブピクセル)に分け、それぞれ別の方向に液晶分子を倒すよう工夫されている。これをマルチドメイン化あるいはマルチドメイン設計という。以下の説明では、マルチドメイン設計が考慮された液晶表示装置に

50

について説明する。

【0171】

図17及び図18は、VA型の液晶表示装置の画素構造を示している。図18は本実施の形態で示す画素構造の平面図であり、図18中に示す切断線Y-Zに対応する断面構造を図17に表している。以下の説明では図17及び図18を参照して説明する。

【0172】

本実施の形態で示す画素構造は、基板250上に設けられた一つの画素が複数の画素電極を有し、それぞれの画素電極に平坦化膜258及び絶縁層257を介して薄膜トランジスタが接続されている。各薄膜トランジスタは、異なるゲート信号で駆動されるように構成されている。すなわち、マルチドメイン設計された画素において、個々の画素電極に印加する信号を、独立して制御する構成を有している。

10

【0173】

画素電極260は、開口部259において、配線255を介して薄膜トランジスタ264と接続されている。また、画素電極262は、開口部263において、配線256を介して薄膜トランジスタ265と接続している。薄膜トランジスタ264のゲート電極252と、薄膜トランジスタ265のゲート電極253には、異なるゲート信号を与えることができるように分離されている。一方、データ線として機能する配線254は、薄膜トランジスタ264と薄膜トランジスタ265で共通して用いられている。薄膜トランジスタ264及び薄膜トランジスタ265は実施の形態5で示す方法を用いて作製することができる。

20

【0174】

画素電極260と画素電極262の形状は異なっており、スリット261によって分離されている。画素電極262は、V字型に広がる画素電極260の外側を囲むように形成されている。画素電極260と画素電極262に印加する電圧のタイミングを、薄膜トランジスタ264及び薄膜トランジスタ265により異ならせることで、液晶の配向を制御している。ゲート電極252とゲート電極253に異なるゲート信号を与えることで、薄膜トランジスタ264と薄膜トランジスタ265の動作タイミングを異ならせることができる。また、画素電極260及び画素電極262上に配向膜272が形成されている。

【0175】

対向基板251には、遮光膜266、着色膜267、対向電極269が形成されている。また、着色膜267と対向電極269の間には平坦化膜268が形成され、液晶の配向乱れを防いでいる。また、対向電極269上には配向膜271が形成されている。図19に対向基板251側の画素構造を示す。対向電極269は異なる画素間で共通化され、スリット270を有する。スリット270と、画素電極260及び画素電極262のスリット261とを交互に配置することで、斜め電界を発生させて液晶の配向を制御することができる。その結果、液晶が配向する方向を場所によって異ならせることができ、視野角を拡げることができる。

30

【0176】

ここでは、基板、着色膜、遮光膜、及び平坦化膜で、カラーフィルターを構成する。なお、遮光膜、平坦化膜の何れか一方、または両方は、基板上に形成されていなくともよい。

40

【0177】

また、着色膜は、可視光の波長範囲のうち、任意の波長範囲の光の成分を優先的に透過させる機能を有する。通常は、赤色波長範囲の光、青色波長範囲の光、及び緑色波長範囲の光のそれぞれを優先的に透過させる着色膜を組み合わせ、カラーフィルターに用いることが多い。しかしながら、着色膜の組み合わせに関しては、これに限定されない。

【0178】

画素電極260と対向電極269が液晶層273を挟持することで、第1の液晶素子が形成されている。また、画素電極262と対向電極269が液晶層273を挟持することで、第2の液晶素子が形成されている。また、一画素に第1の液晶素子と第2の液晶素子

50

が設けられたマルチドメイン構造である。

【 0 1 7 9 】

なお、ここでは、液晶表示装置として、V A 型の液晶表示装置を示したが、これに限定されない。すなわち、実施の形態 5 に示す薄膜トランジスタを用いて形成した素子基板を、F F S 型の液晶表示装置、I P S 型の液晶表示装置、T N 型の液晶表示装置又はその他の液晶表示装置に用いることができる。

【 0 1 8 0 】

また、本実施の形態では実施の形態 5 にて作製した薄膜トランジスタを用いたが、実施の形態 1 にて作製した薄膜トランジスタを用いてもよい。

【 0 1 8 1 】

以上説明したように、液晶表示装置を作製することができる。本実施の形態の液晶表示装置は、オン電流が高くオフ電流が低い薄膜トランジスタを画素トランジスタとして用いているため、画質が良好（例えば、高コントラスト）であり、且つ消費電力の低い液晶表示装置を作製することができる。

【 0 1 8 2 】

（実施の形態 7）

本実施の形態では、表示装置の一形態として、実施の形態 5 で示す薄膜トランジスタを有する発光表示装置について説明する。ここでは、発光表示装置が有する画素の構成の一例について説明する。図 2 0（A）は画素の平面図を示し、図 2 0（B）は図 2 0（A）中の切断線 A - B に対応する断面構造を示す。

【 0 1 8 3 】

発光表示装置として、本実施の形態ではエレクトロルミネッセンスを利用する発光素子を用いて示す。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大別され、一般的に、前者は有機 E L 素子、後者は無機 E L 素子と呼ばれている。また、ここでは、薄膜トランジスタの作製方法として実施の形態 5 を用いたが、これに限定されず、実施の形態 1 に示す作製方法により作製したものであってもよい。

【 0 1 8 4 】

有機 E L 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と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て、電流が流れる。そして、それらキャリア（電子と正孔）が再結合することにより、発光性の有機化合物が励起状態を形成し、励起状態が基底状態に緩和する際に発光する。このようなメカニズムから、このような発光素子は電流励起型の発光素子と呼ばれる。

【 0 1 8 5 】

無機 E L 素子は、素子構成により、分散型無機 E L 素子と薄膜型無機 E L 素子とに分類される。分散型無機 E L 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ドナー - アクセプター再結合型発光である。薄膜型無機 E L 素子は、発光層を誘電体層で挟み込み、さらに発光層を誘電体層で挟み込んだもの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局在型発光である。なお、ここでは、発光素子として有機 E L 素子を用いて説明する。

【 0 1 8 6 】

図 2 0（A）及び（B）において、第 1 の薄膜トランジスタ 2 8 1 a は画素電極への信号の入力を制御するためのスイッチング用の薄膜トランジスタであり、第 2 の薄膜トランジスタ 2 8 1 b は発光素子 2 8 2 への電流または電圧を制御するための駆動用の薄膜トランジスタである。

【 0 1 8 7 】

第 1 の薄膜トランジスタ 2 8 1 a のゲート電極は走査線 2 8 3 a に、ソース領域及びドレイン領域の一方は、信号線 2 8 4 a に接続され、ソース領域及びドレイン領域の他方は配線 2 8 4 b を介して第 2 の薄膜トランジスタ 2 8 1 b のゲート電極 2 8 3 b に接続され

10

20

30

40

50

る。また、第2の薄膜トランジスタ281bのソース領域及びドレイン領域の一方は電源線285aに接続され、ソース領域及びドレイン領域の他方は配線285bを介して発光素子の画素電極（陰極288）に接続される。第2の薄膜トランジスタ281bのゲート電極、ゲート絶縁膜、及び電源線285aで容量素子280を構成し、第1の薄膜トランジスタ281aのソース電極及びドレイン電極の他方は容量素子280に接続されている。

【0188】

なお、容量素子280は、第1の薄膜トランジスタ281aがオフのときに第2の薄膜トランジスタ281bのゲート電極とソース電極の間の電位差、またはゲート電極とドレイン電極の間の電位差（以下、ゲート電圧という。）を保持するための容量素子に相当し、これらは必ずしも設けなくてもよい。

10

【0189】

本実施の形態では、第1の薄膜トランジスタ281a及び第2の薄膜トランジスタ281bはnチャネル型薄膜トランジスタで形成されるが、これら的一方または双方がpチャネル型の薄膜トランジスタで形成されていてもよい。

【0190】

第1の薄膜トランジスタ281a及び第2の薄膜トランジスタ281b上には絶縁層286が形成され、絶縁層286上に平坦化膜287が形成され、平坦化膜287及び絶縁層286に開口部が形成され、該開口部において配線285bに接続する陰極288が形成されている。平坦化膜287は、アクリル樹脂、ポリイミド、ポリアミドなどの有機樹脂またはシロキサンポリマーを用いて形成することが好ましい。該開口部では、陰極288が凹凸を有するため、陰極が凹凸を有する領域を覆い、且つ開口部を有する隔壁291を設ける。隔壁291の開口部において陰極288と接するように、EL層289が形成され、EL層289を覆うように陽極290が形成され、陽極290及び隔壁291を覆うように保護絶縁膜292が形成される。

20

【0191】

ここでは、発光素子として上面射出（トップエミッション）構造の発光素子282を示している。上面射出構造の発光素子282は、第1の薄膜トランジスタ281a及び第2の薄膜トランジスタ281bとEL層が重畳する領域での発光も取り出すことが可能であるため、広い発光面積を確保することが可能である。しかしながら、EL層289の下地が凹凸を有すると、EL層289の膜厚分布が不均一となり、陽極290と陰極288が短絡（ショート）し、表示欠陥を生じてしまうおそれがある。このため、平坦化膜287を設けることが好ましい。平坦化膜287を設けることで、歩留まりを向上させることができる。

30

【0192】

陰極288と陽極290でEL層289を挟んでいる領域が発光素子282に相当する。図20に示した画素の場合、発光素子282から発せられる光は、図20（B）に白抜きの矢印で示すように陽極290側に射出する。

【0193】

陰極288は仕事関数が小さく、且つ光を反射する導電膜であれば公知の材料を用いることができる。例えば、Ca、MgAg、AlLi等が望ましい。EL層289は、単数の層で構成されていてもよいし、複数の層が積層されて構成されていてもよい。複数の層が積層されて構成されている場合には、陰極288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して形成する。電子注入層を用いることで、Alなどの仕事関数の大きい金属を陰極288として用いることもできる。なお、発光層以外の層、例えば電子注入層、電子輸送層、ホール輸送層、ホール注入層の全てを設ける必要はなく、必要に応じて必要な層を適宜設ければよい。陽極290は、光を透過する透光性を有する導電性材料を用いて形成し、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、ITO、インジウム亜鉛酸化物、酸化ケイ素を添加

40

50

したインジウム錫酸化物などの透光性を有する導電性導電膜を用いても良い。

【0194】

ここでは、基板とは逆側の面から発光を取り出す上面射出構造の発光素子について示したが、これに限定されない。すなわち、基板側の面から発光を取り出す下面射出（ボトムエミッション）構造の発光素子や、基板側及び基板とは逆側の面から発光を取り出す両面射出（デュアルエミッション）構造の発光素子を採用してもよい。

【0195】

また、ここでは、発光素子として有機EL素子について述べたが、発光素子として無機EL素子を用いてもよい。

【0196】

なお、本実施の形態では、発光素子の駆動を制御する薄膜トランジスタ（駆動用薄膜トランジスタ）と発光素子が接続されている例を示したが、駆動用薄膜トランジスタと発光素子との間に電流制御用薄膜トランジスタが接続されていてもよい。

【0197】

以上説明したように、発光表示装置を作製することができる。本実施の形態の発光表示装置は、オン電流が高くオフ電流が低い薄膜トランジスタを画素トランジスタとして用いているため、画質が良好（例えば、高コントラスト）であり、且つ消費電力の低い発光表示装置とすることができる。

【0198】

（実施の形態8）

次に、表示装置が有する表示パネルの構成の一例について説明する。

【0199】

図21（A）は、信号線駆動回路303のみを別途形成し、基板301上に形成された画素部302と接続させた表示パネルの形態を示す。画素部302、保護回路306、及び走査線駆動回路304が形成された素子基板は、実施の形態1等に応示する薄膜トランジスタを用いて形成する。信号線駆動回路303は、単結晶半導体を用いたトランジスタ、多結晶半導体を用いたトランジスタ、またはSOI（Silicon On Insulator）を用いたトランジスタにより構成すれば良い。SOIを用いたトランジスタには、ガラス基板上に単結晶半導体層を設けたトランジスタを含む。画素部302と、信号線駆動回路303と、走査線駆動回路304とに、それぞれ電源の電位及び各種信号等が、FPC305を介して供給される。保護回路306は、その他の構造の薄膜トランジスタ、ダイオード、抵抗素子及び容量素子等から選択された1つ又は複数の素子によって設けてもよい。

【0200】

なお、信号線駆動回路及び走査線駆動回路を、画素部の画素トランジスタと同じ基板上に形成しても良い。

【0201】

また、駆動回路を別途形成する場合には、必ずしも駆動回路が形成された基板を、画素部が形成された基板上に貼り合わせる必要はなく、例えばFPC上に貼り合わせるようにしても良い。図21（B）は、信号線駆動回路313のみを別途形成し、基板311上に形成された画素部312、保護回路316、及び走査線駆動回路314が形成された素子基板とFPC315が接続している表示パネルの形態を示す。画素部312、保護回路316及び走査線駆動回路314は、上記の実施の形態にて説明した薄膜トランジスタを用いて形成する。信号線駆動回路313は、FPC315及び保護回路316を介して、画素部312に接続されている。画素部312と、信号線駆動回路313と、走査線駆動回路314のそれぞれに、電源の電位及び各種の信号等が、FPC315を介して入力される。

【0202】

また、信号線駆動回路の一部又は走査線駆動回路の一部のみを、上記の実施の形態に応示する薄膜トランジスタを用いて画素部と同じ基板上に形成し、残りを別途形成して画素部と

10

20

30

40

50

電氣的に接続するようにしても良い。図 2 1 (C) は、信号線駆動回路が有するアナログスイッチ 3 2 3 a を、画素部 3 2 2 及び走査線駆動回路 3 2 4 と同じ基板 3 2 1 上に形成し、信号線駆動回路が有するシフトレジスタ 3 2 3 b を別途異なる基板に形成して貼り合わせる表示パネルの形態を示す。画素部 3 2 2、保護回路 3 2 6、及び走査線駆動回路 3 2 4 は、上記の実施の形態に示す薄膜トランジスタを用いて形成する。信号線駆動回路が有するシフトレジスタ 3 2 3 b は、アナログスイッチ 3 2 3 a 及び保護回路 3 2 6 を介して画素部 3 2 2 と接続されている。画素部 3 2 2 と、信号線駆動回路と、走査線駆動回路 3 2 4 のそれぞれに、電源の電位及び各種の信号等が、F P C 3 2 5 を介して入力される。

【 0 2 0 3 】

10

図 2 1 に示すように、本実施の形態の表示装置では、信号線駆動回路と走査線駆動回路の一部または全部を、画素部と同じ基板上に形成することができる。一部又は全部が画素部と同じ基板上に形成された信号線駆動回路と走査線駆動回路に設けられる薄膜トランジスタは、上記の実施の形態にて説明したように形成することができる。なお、表示装置の構成は上記説明に限定されない。例えば、特に必要のない場合には、保護回路は設けなくてもよい。

【 0 2 0 4 】

なお、別途回路を形成した基板の接続方法は、特に限定されるものではなく、公知の C O G 方式、ワイヤボンディング方式、或いは T A B 方式などを用いることができる。また接続する位置は、電氣的な接続が可能であるならば、図 2 1 に示した位置に限定されない。

20

【 0 2 0 5 】

なお、信号線駆動回路は、シフトレジスタとアナログスイッチを有する。または、シフトレジスタとアナログスイッチに加え、バッファ、レベルシフタ、ソースフォロワ等、他の回路を有していても良い。また、シフトレジスタとアナログスイッチは必ずしも設ける必要はなく、例えばシフトレジスタの代わりにデコーダ回路のような信号線の選択ができる別の回路を用いても良いし、アナログスイッチの代わりにラッチ等を用いても良い。

【 0 2 0 6 】

(実施の形態 9)

上記実施の形態の薄膜トランジスタで構成される素子基板及びこれを用いた表示装置等は、アクティブマトリクス型の表示装置パネルに適用することができる。更には、これらを表示部に組み込んだ電子機器に適用することもできる。

30

【 0 2 0 7 】

その様な電子機器としては、ビデオカメラ及びデジタルカメラ等のカメラ、ヘッドマウントディスプレイ (ゴーグル型ディスプレイ)、カーナビゲーション、プロジェクタ、カーステレオ、パーソナルコンピュータ、携帯情報端末 (モバイルコンピュータ、携帯電話または電子書籍等) などが挙げられる。それらの一例を図 2 2 に示す。

【 0 2 0 8 】

図 2 2 (A) はテレビジョン装置である。上記の実施の形態を適用した表示パネルを筐体に組みこんで、テレビジョン装置を完成させることができる。表示パネルにより主画面 3 3 3 が形成され、その他付属設備としてスピーカ部 3 3 9 及び操作スイッチなどが備えられている。

40

【 0 2 0 9 】

図 2 2 (A) に示すように、筐体 3 3 1 に表示素子を利用した表示パネル 3 3 2 が組みこまれ、受信機 3 3 5 により一般のテレビ放送の受信をはじめ、モデム 3 3 4 を介して有線又は無線による通信ネットワークに接続することにより片方向 (送信者から受信者) 又は双方向 (送信者と受信者間、又は受信者間同士) の情報通信をすることもできる。テレビジョン装置の操作は、筐体に組みこまれたスイッチ又はリモコン操作機 3 3 6 により行うことが可能であり、このリモコン装置にも出力する情報を表示する表示部 3 3 7 が設けられていても良く、表示部 3 3 7 に実施の形態 1 等の薄膜トランジスタが設けられていて

50

もよい。また、主画面 3 3 3 の他にサブ画面 3 3 8 を第 2 の表示パネルで形成し、チャンネルや音量などを表示する構成が付加されていても良い。この構成において、主画面 3 3 3 及びサブ画面 3 3 8 の一方又は双方に実施の形態 1 等の薄膜トランジスタを適用することができる。

【 0 2 1 0 】

図 2 3 は、テレビ装置の主要な構成を説明するブロック図を示している。表示パネルには、画素部 3 7 1 が形成されている。信号線駆動回路 3 7 2 と走査線駆動回路 3 7 3 は、表示パネルに C O G 方式により実装されていても良い。

【 0 2 1 1 】

また、その他の外部回路の構成として、映像信号の入力側には、チューナ 3 7 4 で受信した信号のうち、映像信号を増幅する映像信号増幅回路 3 7 5 と、そこから出力される信号を赤、緑、青の各色に対応した色信号に変換する映像信号処理回路 3 7 6 と、その映像信号をドライバ I C の入力仕様に変換するためのコントロール回路 3 7 7 等が設けられている。コントロール回路 3 7 7 は、走査線側と信号線側にそれぞれ信号を出力する。デジタル駆動する場合には、信号線側に信号分割回路 3 7 8 を設け、入力デジタル信号を m 個に分割して入力する構成としても良い。

【 0 2 1 2 】

チューナ 3 7 4 で受信した信号のうち、音声信号は、音声信号増幅回路 3 7 9 に送られ、その出力は音声信号処理回路 3 8 0 を経てスピーカ 3 8 3 に入力される。制御回路 3 8 1 は受信局（受信周波数）や音量の制御情報を入力部 3 8 2 から受け、チューナ 3 7 4 や音声信号処理回路 3 8 0 に信号を送出する。

【 0 2 1 3 】

勿論、テレビジョン装置に限定されず、パーソナルコンピュータのモニタをはじめ、鉄道の駅や空港などにおける情報表示盤や、街頭における広告表示盤など大面積の表示媒体に適用してもよい。

【 0 2 1 4 】

以上説明したように、主画面 3 3 3 及びサブ画面 3 3 8 の一方又は双方に実施の形態 1 等で説明した薄膜トランジスタを適用することで、画質が高く、消費電力の低いテレビ装置を作製することができる。

【 0 2 1 5 】

図 2 2 (B) は、携帯電話機 3 4 1 の一例を示している。携帯電話機 3 4 1 は、表示部 3 4 2、操作部 3 4 3 等により構成されている。表示部 3 4 2 に実施の形態 1 等で説明した薄膜トランジスタを適用することで、画質を向上させ、消費電力を低減させることができる。

【 0 2 1 6 】

図 2 2 (C) に示す携帯型のコンピュータは、本体 3 5 1、表示部 3 5 2 等を含んでいる。表示部 3 5 2 に、実施の形態 1 等で説明した薄膜トランジスタを適用することで、画質を向上させ、消費電力を低減させることができる。

【 0 2 1 7 】

図 2 2 (D) は卓上照明器具であり、照明部 3 6 1、傘 3 6 2、可変アーム 3 6 3、支柱 3 6 4、台 3 6 5、電源 3 6 6 等を含む。上記の実施の形態で説明した発光表示装置を照明部 3 6 1 に用いることにより作製される。照明部 3 6 1 に実施の形態 1 等で説明した薄膜トランジスタを適用することで、消費電力を低減させることができる。

【 0 2 1 8 】

図 2 4 は携帯電話機の構成の一例を示しており、例えば表示部に実施の形態 1 等で示した薄膜トランジスタを有する素子基板及びそれを有する表示装置が適用される。図 2 4 (A) が正面図、図 2 4 (B) が背面図、図 2 4 (C) が展開図である。図 2 4 に示す携帯電話機は、筐体 3 9 4 及び筐体 3 8 5 の二つの筐体で構成されている。図 2 4 に示す携帯電話機は、携帯電話と携帯情報端末の双方の機能を備えており、コンピュータを内蔵し、音声通話以外にも様々なデータ処理が可能であり、スマートフォンとも呼ばれる。

【 0 2 1 9 】

筐体 3 9 4 においては、表示部 3 8 6、スピーカ 3 8 7、マイクロフォン 3 8 8、操作キー 3 8 9、ポインティングデバイス 3 9 0、表面カメラ用レンズ 3 9 1、外部接続端子ジャック 3 9 2、イヤホン端子 3 9 3 等を備え、筐体 3 8 5 においては、キーボード 3 9 5、外部メモリスロット 3 9 6、裏面カメラ 3 9 7、ライト 3 9 8 等により構成されている。また、アンテナは筐体 3 9 4 に内蔵されている。

【 0 2 2 0 】

また、上記の構成に加えて、非接触 I C チップ又は小型記録装置等を内蔵していてもよい。

【 0 2 2 1 】

図 2 4 (A) では筐体 3 9 4 と筐体 3 8 5 が重なり合っており、図 2 4 (A) の状態から筐体 3 9 4 と筐体 3 8 5 がスライドし、図 2 4 (C) のように展開する。表示部 3 8 6 には、実施の形態 1 等における表示装置を組み込むことが可能であり、使用形態に応じて表示の方向が適宜変化する。なお、表示部 3 8 6 と同一面に表面カメラ用レンズ 3 9 1 を備えているため、テレビ電話が可能である。また、表示部 3 8 6 をファインダーとして裏面カメラ 3 9 7 及びライト 3 9 8 で静止画及び動画の撮影が可能である。

【 0 2 2 2 】

スピーカ 3 8 7 及びマイクロフォン 3 8 8 は音声通話に限らず、テレビ電話、音声の録音及び再生等の用途に使用できる。操作キー 3 8 9 では、電話の発着信、電子メール等の簡単な情報入力、画面のスクロール及びカーソル移動等が可能である。

【 0 2 2 3 】

また、書類の作成、携帯情報端末としての使用等、取り扱う情報が多い場合は、キーボード 3 9 5 を用いると便利である。重なり合った筐体 3 9 4 と筐体 3 8 5 (図 2 4 (A)) はスライドでき、図 2 4 (C) のように展開して携帯情報端末として使用できる。また、キーボード 3 9 5 及びポインティングデバイス 3 9 0 を用いることで、円滑な操作でマウスの操作が可能である。外部接続端子ジャック 3 9 2 は A C アダプタ及び U S B ケーブル等の各種ケーブルと接続可能であり、これを介して充電やパーソナルコンピュータ等とのデータ通信が可能である。また、外部メモリスロット 3 9 6 に記録媒体を挿入して使用することで、大量のデータの保存及び移動が可能である。

【 0 2 2 4 】

筐体 3 8 5 の裏面 (図 2 4 (B)) には、裏面カメラ 3 9 7 及びライト 3 9 8 を備えており、表示部 3 8 6 をファインダーとして静止画及び動画の撮影が可能である。

【 0 2 2 5 】

また、上記の構成に加えて、赤外線通信機能、U S B ポート、テレビワンセグ受信機能、非接触 I C チップ、イヤホンジャック等を備えていてもよい。

【 0 2 2 6 】

実施の形態 1 等で説明した薄膜トランジスタを画素に適用することで、画質を向上させ、消費電力を低減させることができる。

【 実施例 1 】

【 0 2 2 7 】

本実施例では、ゲート絶縁層、半導体層、およびバッファ層が積層された試料の作製工程、および作製した試料を測定した結果について説明する。

【 0 2 2 8 】

まず、試料の作製方法について説明する。

【 0 2 2 9 】

基板上に、ゲート絶縁層、半導体層、及びバッファ層を、同一チャンバー内で形成した。基板としては、ガラス基板を用いた。

【 0 2 3 0 】

まず、プラズマ C V D 装置のチャンバーに基板を搬入し、基板上にゲート絶縁層として、厚さ 3 0 0 n m の酸化窒化シリコン層を形成した。ここでは、R F 電源周波数を 1 3 .

10

20

30

40

50

56 MHz、RF電源の電力を50 W、温度を280℃、シラン流量：一酸化二窒素流量の比を1：40、圧力を40 Paとした。

【0231】

そして、基板をチャンバーからプラズマCVD装置の外へ移動させ、フッ素ラジカルによりチャンバー内をクリーニングした。その後、プラズマCVD装置のチャンバー内に基板を再度搬入した。

【0232】

次に、チャンバー内に窒素を供給する処理を行った。チャンバー内への窒素を供給する処理としては、流量1000 sccmでNH₃ガスを60秒間チャンバー内に流して行った。これによりチャンバー内壁にNH₃を付着させた。なお、NH₃ガスは100 vol %のNH₃を使用した。

10

【0233】

次に、ゲート絶縁層上に半導体層として、厚さ50 nmの微結晶シリコン膜を形成した。ここでは、RF電源周波数を13.56 MHz、RF電源の電力を50 W、温度を280℃、シラン流量：水素流量の比を1：150、圧力を280 Paとした。

【0234】

次に、半導体層上にバッファ層として、厚さ100 nmの非晶質シリコン膜を形成した。ここでは、RF電源周波数を13.56 MHz、RF電源の電力を60 W、温度を280℃、シラン流量：水素流量の比を14：15、圧力を170 Paとした。

【0235】

20

この後、STEM (Scanning Transmission Microscope。以下、STEMという。) による観察において試料にチャージアップが生じることを防ぐために、バッファ層上に導電層を形成した。ここでは、導電層として、炭素膜を形成した。

【0236】

以上のように作製した試料の断面について、STEM像を取得した。この像を図25に示す。

【0237】

図25から、絶縁層400上から成長方向10～15 nm程度の半導体層401の領域においては、シリコンの結晶粒が存在しない。半導体層401の領域は、実施の形態1にて示した図2における第1の領域120に相当する。また、絶縁層400上から成長方向10～15 nmの領域からバッファ層404までの間に、破線403で囲まれる領域に見られるようにシリコンの結晶粒が観察される。このシリコンの結晶粒は、頂点が絶縁層400側にあり、バッファ層404側へ近づくに従って幅が広がる逆錐形状である。このシリコンの結晶粒は、実施の形態1にて示した図2における結晶粒121に相当する。

30

【0238】

また、上記の試料について、酸素濃度、窒素濃度、フッ素濃度、シリコン濃度及び水素濃度をSIMSで測定した。この結果を図26に示す。

【0239】

図26によると、半導体層の窒素濃度は、バッファ層404に近づくにつれ、減少している。更に、SIMSによって計測される窒素の濃度が $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下の領域から、逆錐形のシリコン結晶粒の頂点が形成されている。以上のことから、半導体層において、窒素濃度をある濃度まで低減する (SIMSによって計測される窒素の濃度が $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $7 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下とする) ことで、結晶核の生成が可能ながわかった。

40

【0240】

図27は、上記試料の断面をSTEMにより撮影した断面のSTEM像 (図25) に、上記試料のSIMSプロファイル (図26) を重ねた図を示す。深さが概ね100 nm～140 nmの領域には、バッファ層404が形成される。深さが概ね140～190 nm

50

の領域には、破線 403 で囲まれた領域を含む半導体層が形成されている。深さが概ね 190 ~ 220 nm の領域には、絶縁層 400 が形成されている。

【0241】

なお、図 35 は、図 26 と比較する従来の例によって作製した試料についての断面 S T E M 像に S I M S プロファイルを重ねたものを示す。図 35 に示す試料は、 NH_3 をチャンパー内に流す工程を行わずして作製した。当該試料の作製方法において、その点のみが図 26 に示す試料と異なる。図 35 に示す S T E M 像では、全面に柱状の結晶がランダムに形成され、隣接する結晶粒が接している。また、図 35 と比較して、図 26 に示す S I M S プロファイルでは、絶縁層と半導体層の界面からバッファ層の方向（成長方向）に向かうに従い、窒素の濃度が徐々に低下している。すなわち、本実施例にて説明した方法により、半導体層における結晶核の生成及び結晶成長の制御が可能であることがわかる。なお、フッ素の濃度も低い。

10

【0242】

また、図 28 は、上記試料の結晶粒を含む層の平面について観察した S T E M 像を示す。図 28 に示すように、平面の S T E M 像によれば、第 1 の部分 405 や第 2 の部分 407 のような黒い斑状の部分（電子線が透過しにくい部分）と、第 3 の部分 409 のような白い斑状の部分（電子線が透過しやすい部分）が存在することがわかる。従って、半導体層中には、原子密度の高い部分と密度の低い部分が混在していると考えられる。

【実施例 2】

【0243】

20

本実施例では、図 12 に示す薄膜トランジスタを作製し、作製した薄膜トランジスタの電気特性を測定した結果と、該薄膜トランジスタの断面の S T E M 像を示す。

【0244】

まず、薄膜トランジスタの作製工程について説明する。図 13 (A) に示すように、基板 200 上にゲート電極層 202 を形成した。ここでは、基板 200 としてガラス基板を用いた。また、ゲート電極層 202 は、モリブデンターゲットをアルゴンでスパッタリングして厚さ 150 nm のモリブデン膜を形成した後、フォトリソグラフィ法により該モリブデン膜をエッチングして形成した。その後、レジストマスクを除去した。

【0245】

次に、図 13 (B) 及び図 14 (A) に示すように、ゲート電極層 202 及び基板 200 上に、ゲート絶縁層 204、半導体層 205、バッファ層 207、及びドナーとなる不純物元素を含む半導体層 209 を連続して形成した。

30

【0246】

ゲート絶縁層 204 としては、厚さ 300 nm の窒化シリコン膜を形成した。ここでは、R F 電源周波数を 13.56 MHz、R F 電源の電力を 370 W、温度を 280℃、シラン流量：水素流量：窒素流量：アンモニア流量の比を 4：50：55：14、圧力を 100 Pa とした。当該工程により、プラズマ C V D 装置のチャンパー内壁にも窒化シリコン膜が形成された。

【0247】

また、半導体層 205 としては、厚さ 30 nm の微結晶シリコン膜を形成した。ここでは、R F 電源周波数を 60 MHz、R F 電源の電力を 50 W、温度を 280℃、シラン流量：水素流量の比を 1：150、圧力を 280 Pa とした。なお、当該工程により、プラズマ C V D 装置のチャンパー内壁に形成された窒化シリコン膜に含まれる窒素を取り込みながら微結晶シリコン膜が形成されるため、微結晶シリコン膜に窒素を含ませることができる。

40

【0248】

また、バッファ層 207 としては、厚さ 80 nm の非晶質シリコン膜を形成した。ここでは、R F 電源周波数を 13.56 MHz、R F 電源の電力を 60 W、温度を 280℃、シラン流量：水素流量の比を 14：15、圧力を 170 Pa とした。

【0249】

50

ドナーとなる不純物元素を含む半導体層 209 としては、厚さ 50 nm のリンが添加された非晶質シリコン膜を形成した。ここでは、RF 電源周波数を 13.56 MHz、RF 電源の電力を 60 W、温度を 280℃、シラン流量：0.5 vol % フォスフィン (PH₃) を H₂ により 0.5 % まで希釈) 流量の比を 10 : 17、圧力を 170 Pa とした。

【0250】

次に、ドナーとなる不純物元素を含む半導体層 209 上にレジストを塗布した後、図 14 (B) に示すようにフォトリソグラフィ法により第 1 のレジストマスク 231 を形成し、第 1 のレジストマスク 231 を用いて、半導体層 205、バッファ層 207、及びドナーとなる不純物元素を含む半導体層 209 をエッチングして、図 14 (C) に示すように、島状の半導体層を形成した。ここでは、平行平板型 RIE (reactive ion etching) 装置を用い、ICP (Inductively Coupled Plasma：誘導結合型プラズマ) パワーを 150 W、バイアスパワーを 40 W、圧力を 1.0 Pa とし、エッチングガスに流量 100 sccm の塩素を用いて、エッチング時間を 103 秒間として、半導体層 205、バッファ層 207、及びドナーとなる不純物元素を含む半導体層 209 をエッチングした。その後、第 1 のレジストマスク 231 を除去した。

【0251】

次に、図 15 (B) に示すように、エッチングされた半導体層 205、バッファ層 207、及びドナーとなる不純物元素を含む半導体層 209 を覆って導電層 211 を形成した。ここでは、モリブデンターゲットをアルゴンでスパッタリングして厚さ 300 nm のモリブデン層を形成した。

【0252】

次に、導電層 211 上にレジストを塗布した後、図 15 (C) に示すようにフォトリソグラフィ法により第 2 のレジストマスク 232 を形成し、第 2 のレジストマスク 232 を用いて導電層 211 をウエットエッチングして、図 16 (A) に示すように、配線層 212 を形成した。

【0253】

次に、第 2 のレジストマスク 232 を用いてドナーとなる不純物元素を含む半導体層 209 をエッチングして、図 16 (B) に示すように一対のソース領域及びドレイン領域 210 を形成した。なお、当該工程において、島状のバッファ層の表面も一部エッチングされ、バッファ層 208 となった。ここでは、平行平板型 RIE 装置を用いて、ICP パワーを 150 W、バイアスパワーを 40 W、圧力を 1.0 Pa とし、エッチングガスに流量 100 sccm の塩素を用いて、エッチング時間を 44 秒間として、バッファ層及び不純物半導体層をエッチングした。その後、レジストマスクを除去した。または、実施の形態 1 及び実施の形態 5 にて説明したように、この段階で、水プラズマ処理等を行ってもよい。この段階で水プラズマ処理を行う場合には、この工程により第 2 のレジストマスク 232 を除去することができる。

【0254】

次に、バッファ層 208 の表面に塩素プラズマを照射し、バッファ層 208 のバックチャネル部に残留する不純物を除去した。ここでは、ソースパワーを 2000 W、圧力を 0.67 Pa、エッチングガスに流量 100 sccm の塩素を用いて、エッチング時間を 30 秒間とした。

【0255】

次に、気化した水をプラズマで放電して生成したラジカルを、バッファ層 208、一対のソース領域及びドレイン領域 210、及び配線層 212 の露出部 (バックチャネル部を含む) に照射した。当該工程により、バッファ層 208 の表面を酸化すると共に、バッファ層の表面のダングリングボンドを終端してプラズマによるダメージを回復させることが可能であるため、オフ電流を低減し、オン電流を大きくすることができる。なお、上記説明したバックチャネル部に対して行う処理はこれらの条件に限定されず、適宜行えばよい。

10

20

30

40

50

【0256】

次に、保護絶縁層として厚さ30nmの窒化シリコン層を形成した。ここでは、RF電源周波数を13.56MHz、RF電源の電力を150W、温度を280℃、シラン流量：アンモニア流量：窒素流量：水素流量の比を2：2：45：45、圧力を160Paとした。

【0257】

次に、保護絶縁層上にレジストを塗布した後、フォトリソグラフィ法によりレジストマスクを形成し、該レジストマスクを用いて保護絶縁層の一部をドライエッチングして、配線層212を露出させた。ここでは、平行平板型RIE装置を用い、ICPパワーを475W、バイアスパワーを300W、圧力を5.5Paとし、流量50sccmでCHF₃と流量100sccmでヘリウムを導入してプラズマを発生させた。その後、エッチングガスとして、CHF₃の流量を7.5sccm、ヘリウムの流量を142.5sccmとし、エッチング時間を154秒間として保護絶縁層及びゲート絶縁層204をエッチングした。その後、レジストマスクを除去した。なお、このエッチング工程で、配線層212とゲート電極層202をコンタクトさせる部分において、保護絶縁層及びゲート絶縁層204の一部をドライエッチングして、ゲート電極層202を露出させてもよい。

【0258】

次に、保護絶縁層上に導電層を形成した。ここでは、スパッタリング法により導電層として厚さ50nmのITOを形成した。なお、当該ITOは形成しなくともよい。

【0259】

以上の工程により、図12に示す薄膜トランジスタを作製した。

【0260】

上記説明した通り作製した薄膜トランジスタの電気特性を測定した。この結果を図29に示す。なお、ここでは薄膜トランジスタのチャネル長を6μm、チャネル幅を25μmとした。また、ドレイン電圧が1Vにおける電流-電圧特性と電界効果移動度を実線で示し、ドレイン電圧が14Vにおける電流-電圧特性と電界効果移動度を破線で示した。最大電界効果移動度は、 $1.4\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ であった。また、ゲート電圧が20Vのときのオン電流は $1\times 10^{-6}\text{ A}$ 以上であり、ゲート電圧が-20Vのときのオン電流は $1\times 10^{-10}\text{ A}$ 以下である。従って、本実施例にて作製した薄膜トランジスタは、オン電流が高く、オフ電流の低いものであるといえる。

【0261】

次に、本実施例で形成した薄膜トランジスタの断面のSTEM像を図30に示す。

【0262】

図30(A)は、薄膜トランジスタのチャネルエッチ部近傍のSTEM像である。このときの倍率は13000倍である。図30(B)は、図30(A)の破線411の領域を拡大したものである。なお、このときの倍率は、300000倍である。

【0263】

ゲート絶縁層413は窒化シリコン層により形成され、ゲート絶縁層413上には半導体層415として微結晶シリコン膜が形成され、半導体層415上にはバッファ層417として非晶質シリコン膜が形成されている。バッファ層417上にはドナーとなる不純物元素を含む半導体層419として、リンが添加された非晶質シリコン膜が形成されている。ドナーとなる不純物元素を含む半導体層419上に、導電層421としてモリブデン層が形成されている。また、破線423で示す領域には、頂点がゲート絶縁層413側にあり、バッファ層417に向かって上向きに広がる逆錐形状のシリコン結晶粒が観察される。

【実施例3】

【0264】

本実施例では、実施例1において、図25を参照して説明した破線403で囲んだ部分の電子線回折像を示す。

【0265】

図 3 1 には、上記説明したように作製した結晶粒の電子顕微鏡像（TEM 像）を示す。図 3 1 を参照すると、結晶粒の頂点の角度は概ね 63° と見積もることができる。

【0266】

図 3 2 乃至図 3 4 には、図 3 1 に示すポイント 1 乃至ポイント 6 において取得した電子線回折像を示す。図 3 2 (A) は、図 3 1 におけるポイント 1 にて取得したものであり、図 3 2 (B) は、図 3 1 におけるポイント 2 にて取得したものであり、図 3 3 (A) は、図 3 1 におけるポイント 3 にて取得したものであり、図 3 3 (B) は、図 3 1 におけるポイント 4 にて取得したものであり、図 3 4 (A) は、図 3 1 におけるポイント 5 にて取得したものであり、図 3 4 (B) は、図 3 1 におけるポイント 6 にて取得したものである。

【0267】

これらの電子線回折像によれば、これらの面方位は同じではない。例えば、図 3 2 (B) に示す電子線回折像と図 3 3 (C) に示す電子線回折像を比較すると、これらの面方位は異なることが明らかであり、図 3 2 (B) を取得した領域（ポイント 2）を含む結晶と、図 3 3 (A) を取得した領域（ポイント 3）を含む結晶は、単結晶に近いものであるといえる。また、図 3 2 (B) を取得した領域（ポイント 2）を含む結晶と、図 3 3 (A) を取得した領域（ポイント 3）を含む結晶は、形状から双晶を形成しているように見受けられる。

【0268】

また、ポイント 6 で得られた電子線回折像は優先方位のあるデバイシェラー環を示している。しかし、これは電子線回折像を得た分析領域が狭いためであり、ポイント 6 の部分は非晶質構造であると考えられる。

【0269】

図 3 1 乃至図 3 4 から、ポイント 1 乃至ポイント 5 で取得した電子線回折像によって、破線 403 で囲んだ部分に存在する結晶粒は単結晶に近いものであって、該結晶粒中には双晶を含むことがわかる。また、ポイント 6 で取得した電子線回折像から、この部分が非晶質構造であることがわかる。従って、図 3 1 に示す半導体層は、非晶質構造の中に複数の結晶領域を含みチャネル形成領域を構成する半導体層が絶縁層上に形成されており、該結晶領域は、絶縁層と半導体層との界面から離れた位置から、半導体層が堆積される方向に向けて、半導体層上に接して形成される層に達しない領域内において略放射状に成長した逆錐形の構造である。該結晶領域は、単結晶に近いものであって、該結晶粒中には双晶を含むものとなる。

【符号の説明】

【0270】

100	基板
102	ゲート電極層
104	ゲート絶縁層
105	半導体層
106	半導体層
107	バッファ層
108	バッファ層
109	ドナーとなる不純物元素を含む半導体層
110	ソース領域及びドレイン領域
111	導電層
112	配線層
114	絶縁層
116	画素電極層
120	第 1 の領域
121	結晶粒
122	第 2 の領域
131	第 1 のレジストマスク

10

20

30

40

50

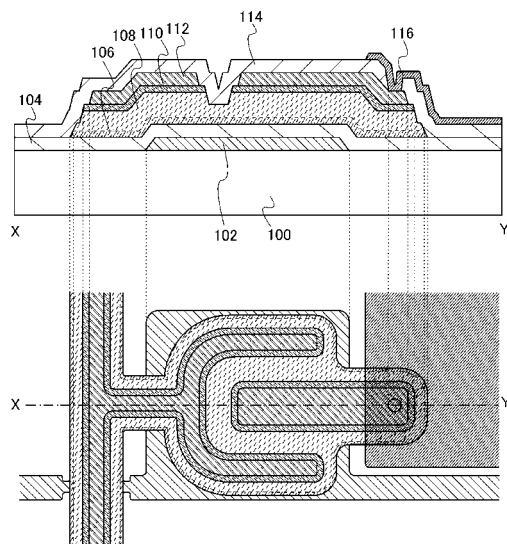
1 3 2	第 2 のレジストマスク	
1 4 1	処理室	
1 4 2	ステージ	
1 4 3	ガス供給部	
1 4 4	シャワープレート	
1 4 5	排気口	
1 4 6	上部電極	
1 4 7	下部電極	
1 4 8	交流電源	
1 4 9	温度制御部	10
1 5 0	ガス供給手段	
1 5 1	排気手段	
1 5 2	シリンダ	
1 5 3	圧力調整弁	
1 5 4	ストップバルブ	
1 5 5	マスフローコントローラ	
1 5 6	バタフライバルブ	
1 5 7	コンダクタンスバルブ	
1 5 8	ターボ分子ポンプ	
1 5 9	ドライポンプ	20
1 6 0	クライオポンプ	
1 6 1	プラズマ C V D 装置	
1 8 0	グレートーンマスク	
1 8 1	基板	
1 8 2	遮光部	
1 8 3	回折格子部	
1 8 5	ハーフトーンマスク	
1 8 6	基板	
1 8 7	半透光部	
1 8 8	遮光部	30
2 0 0	基板	
2 0 2	ゲート電極層	
2 0 4	ゲート絶縁層	
2 0 5	半導体層	
2 0 6	半導体層	
2 0 7	バッファ層	
2 0 8	バッファ層	
2 0 9	ドナーとなる不純物元素を含む半導体層	
2 1 0	ソース領域及びドレイン領域	
2 1 1	導電層	40
2 1 2	配線層	
2 1 4	絶縁層	
2 1 6	画素電極層	
2 3 1	第 1 のレジストマスク	
2 3 2	第 2 のレジストマスク	
2 5 0	基板	
2 5 1	対向基板	
2 5 2	ゲート電極	
2 5 3	ゲート電極	
2 5 4	配線	50

2 5 5	配線	
2 5 6	配線	
2 5 7	絶縁層	
2 5 8	平坦化膜	
2 5 9	開口部	
2 6 0	画素電極	
2 6 1	スリット	
2 6 2	画素電極	
2 6 3	開口部	
2 6 4	薄膜トランジスタ	10
2 6 5	薄膜トランジスタ	
2 6 6	遮光膜	
2 6 7	着色膜	
2 6 8	平坦化膜	
2 6 9	対向電極	
2 7 0	スリット	
2 7 1	配向膜	
2 7 2	配向膜	
2 7 3	液晶層	
2 8 0	容量素子	20
2 8 1 a	薄膜トランジスタ	
2 8 1 b	薄膜トランジスタ	
2 8 2	発光素子	
2 8 3 a	走査線	
2 8 3 b	ゲート電極	
2 8 4 a	信号線	
2 8 4 b	配線	
2 8 5 a	電源線	
2 8 5 b	配線	
2 8 6	絶縁層	30
2 8 7	平坦化膜	
2 8 8	陰極	
2 8 9	E L 層	
2 9 0	陽極	
2 9 1	隔壁	
2 9 2	保護絶縁膜	
3 0 1	基板	
3 0 2	画素部	
3 0 3	信号線駆動回路	
3 0 4	走査線駆動回路	40
3 0 5	F P C	
3 0 6	保護回路	
3 1 1	基板	
3 1 2	画素部	
3 1 3	信号線駆動回路	
3 1 4	走査線駆動回路	
3 1 5	F P C	
3 1 6	保護回路	
3 2 1	基板	
3 2 2	画素部	50

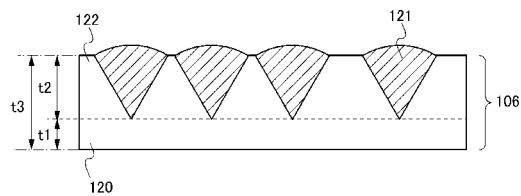
3 2 3 a	アナログスイッチ	
3 2 3 b	シフトレジスタ	
3 2 4	走査線駆動回路	
3 2 5	F P C	
3 2 6	保護回路	
3 3 1	筐体	
3 3 2	表示パネル	
3 3 3	主画面	
3 3 4	モデム	
3 3 5	受信機	10
3 3 6	リモコン操作機	
3 3 7	表示部	
3 3 8	サブ画面	
3 3 9	スピーカ部	
3 4 1	携帯電話機	
3 4 2	表示部	
3 4 3	操作部	
3 5 1	本体	
3 5 2	表示部	
3 6 1	照明部	20
3 6 2	傘	
3 6 3	可変アーム	
3 6 4	支柱	
3 6 5	台	
3 6 6	電源	
3 7 1	画素部	
3 7 2	信号線駆動回路	
3 7 3	走査線駆動回路	
3 7 4	チューナ	
3 7 5	映像信号増幅回路	30
3 7 6	映像信号処理回路	
3 7 7	コントロール回路	
3 7 8	信号分割回路	
3 7 9	音声信号増幅回路	
3 8 0	音声信号処理回路	
3 8 1	制御回路	
3 8 2	入力部	
3 8 3	スピーカ	
3 8 5	筐体	
3 8 6	表示部	40
3 8 7	スピーカ	
3 8 8	マイクロフォン	
3 8 9	操作キー	
3 9 0	ポインティングデバイス	
3 9 1	表面カメラ用レンズ	
3 9 2	外部接続端子ジャック	
3 9 3	イヤホン端子	
3 9 4	筐体	
3 9 5	キーボード	
3 9 6	外部メモリスロット	50

3 9 7	裏面カメラ
3 9 8	ライト
4 0 0	絶縁層
4 0 1	半導体層
4 0 3	破線
4 0 4	バッファ層
4 0 5	第 1 の部分
4 0 7	第 2 の部分
4 0 9	第 3 の部分
4 1 1	破線
4 1 3	ゲート絶縁層
4 1 5	半導体層
4 1 7	バッファ層
4 1 9	ドナーとなる不純物元素を含む半導体層
4 2 1	導電層
4 2 3	破線

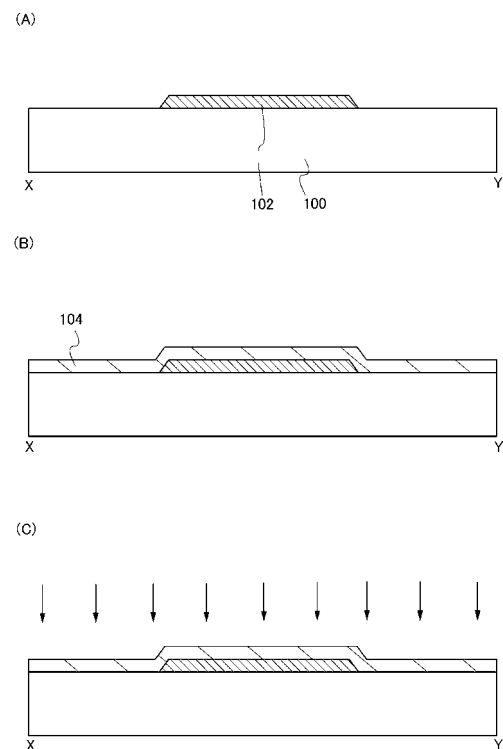
【図 1】



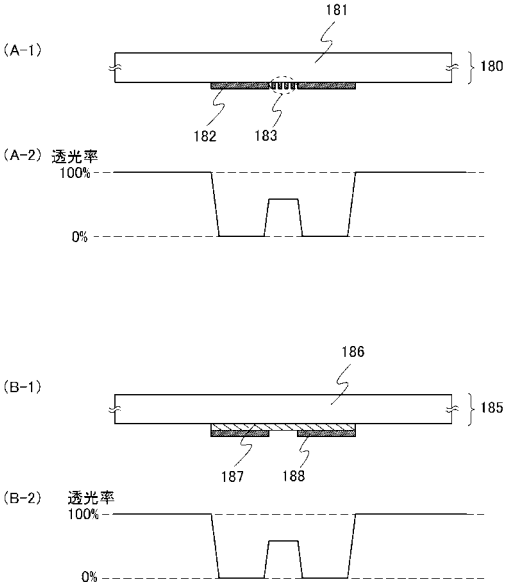
【図 2】



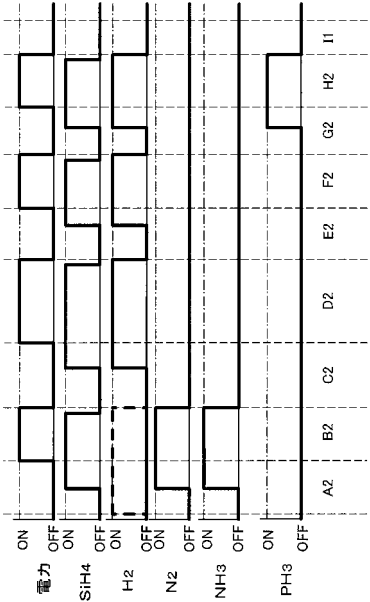
【図 3】



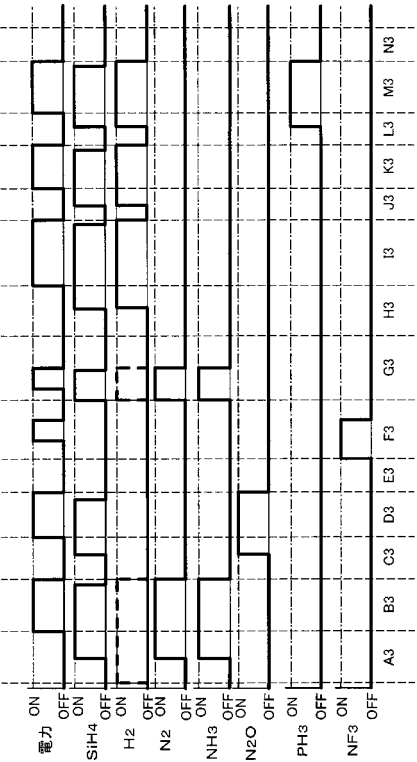
【図 8】



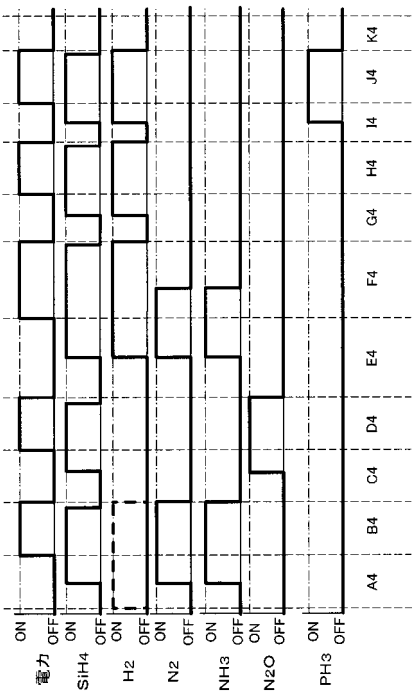
【図 9】



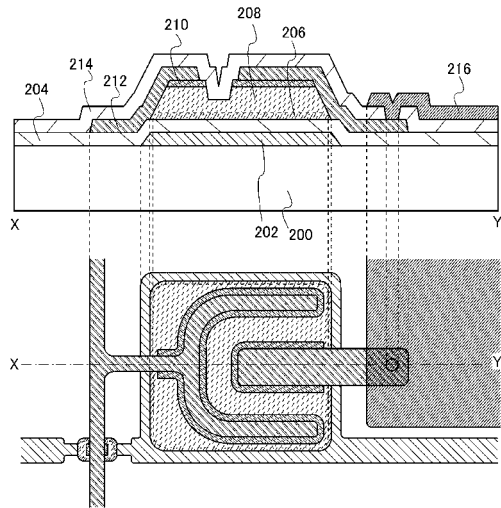
【図 10】



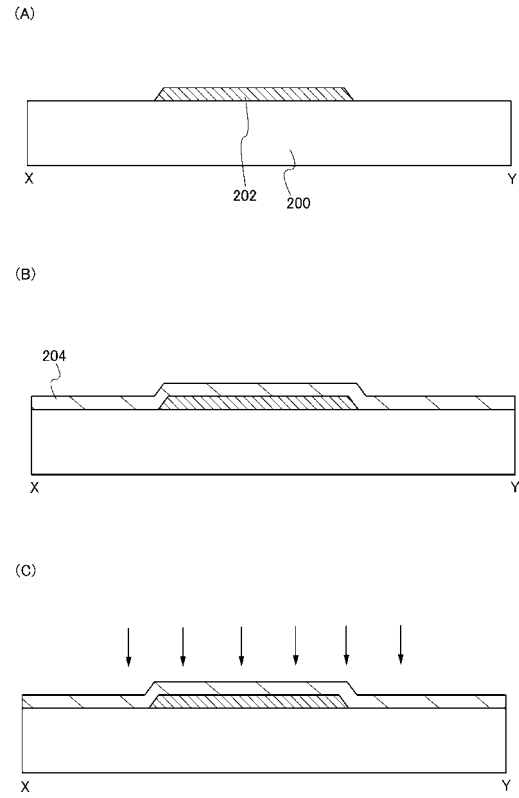
【図 11】



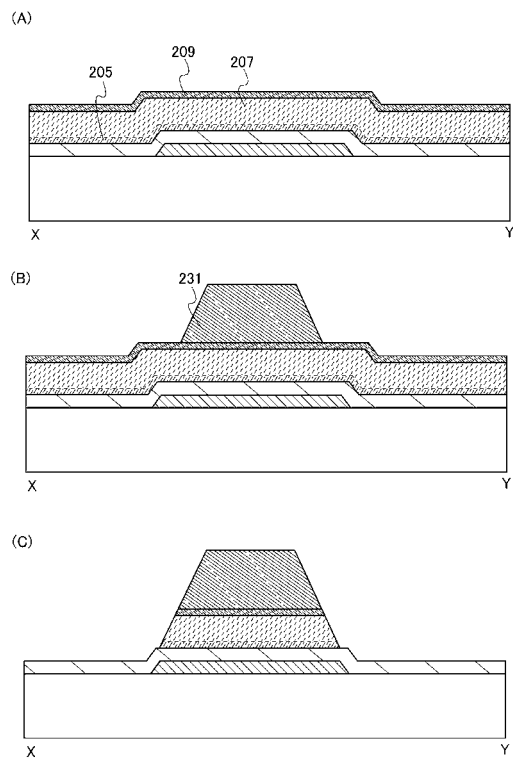
【図 12】



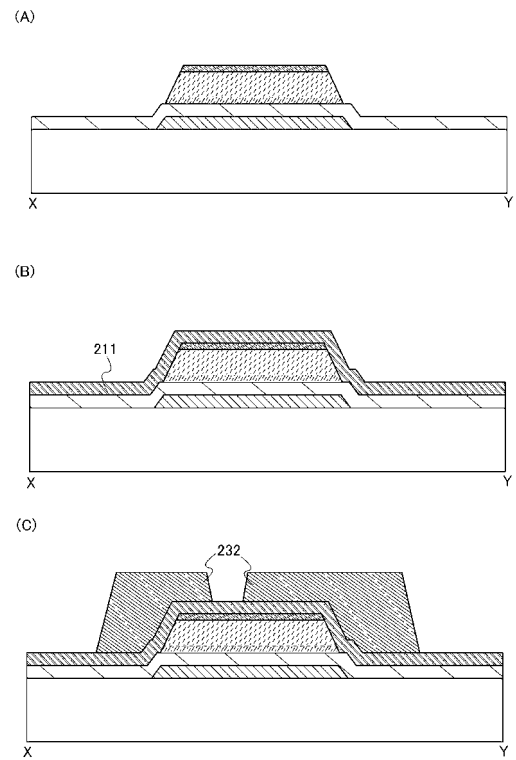
【図 13】



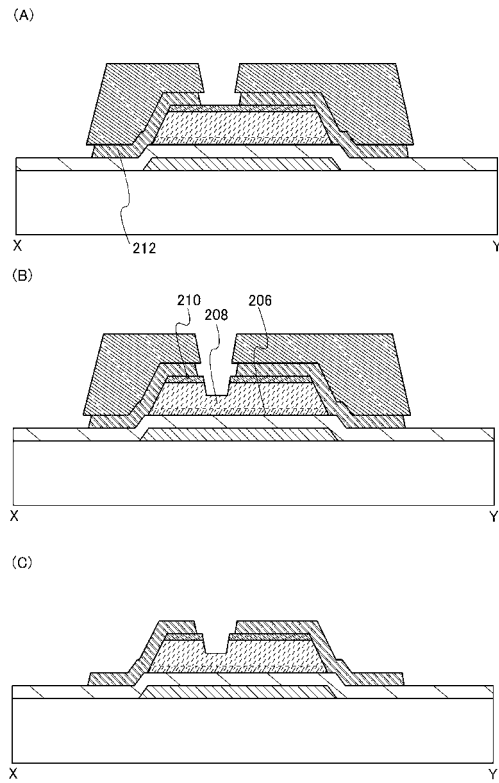
【図 14】



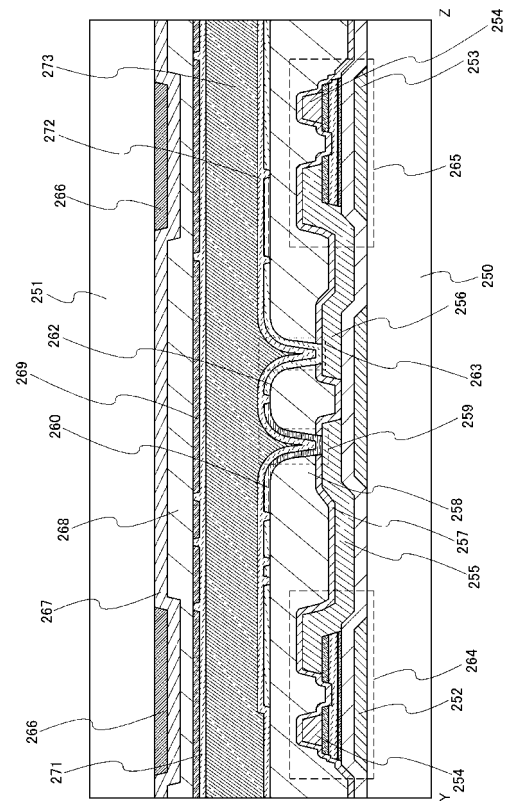
【図 15】



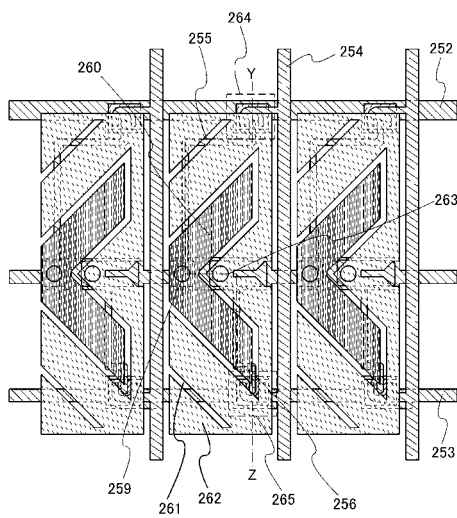
【図 16】



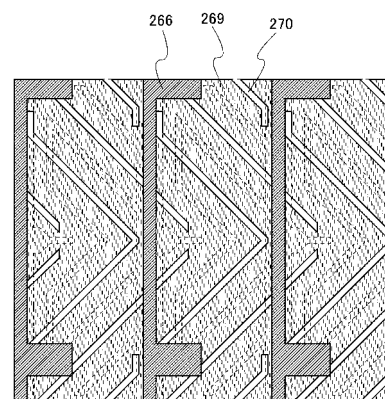
【図 17】



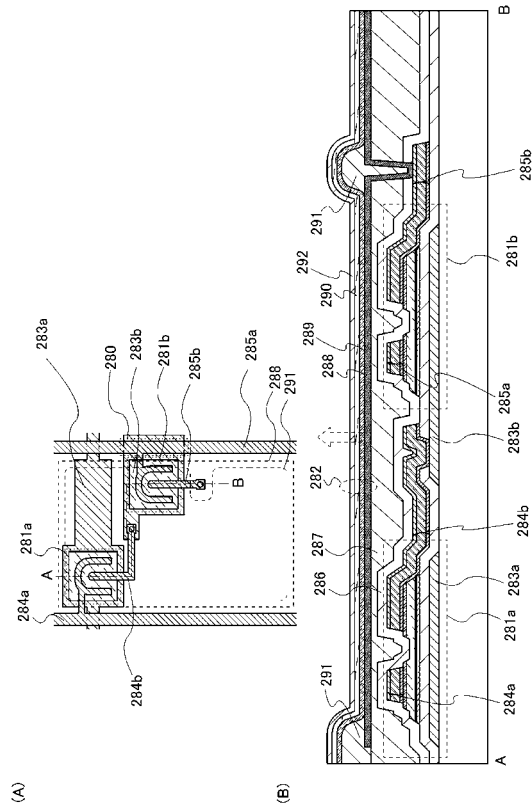
【図 18】



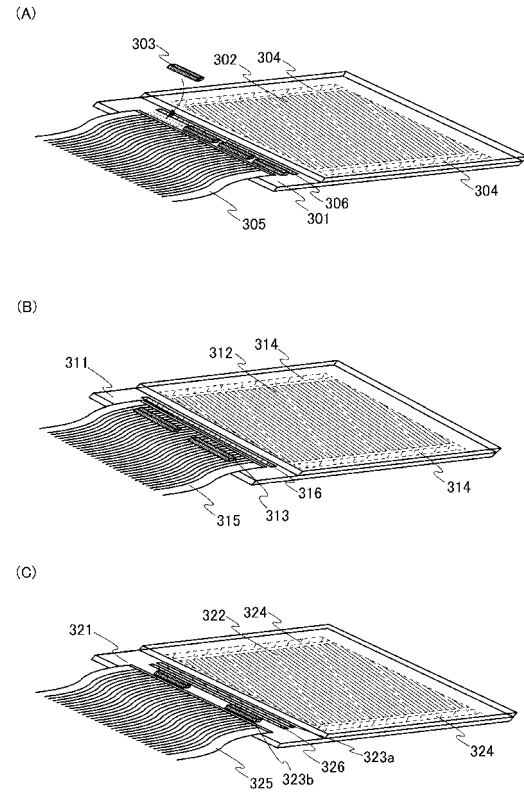
【図 19】



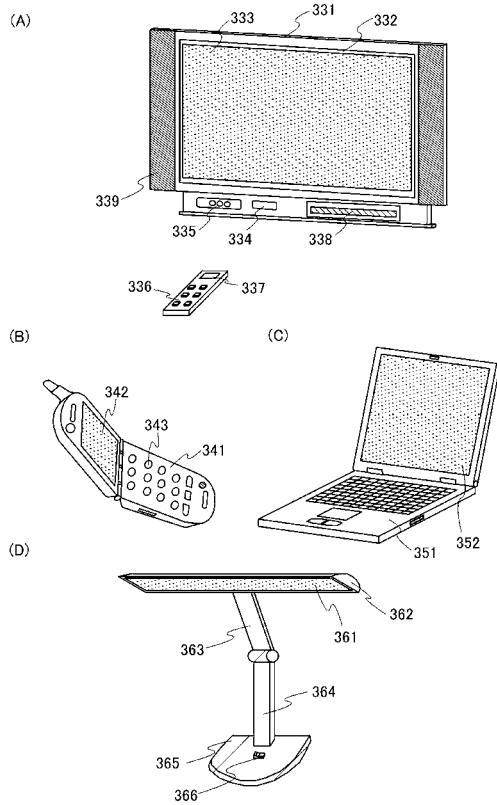
【図 20】



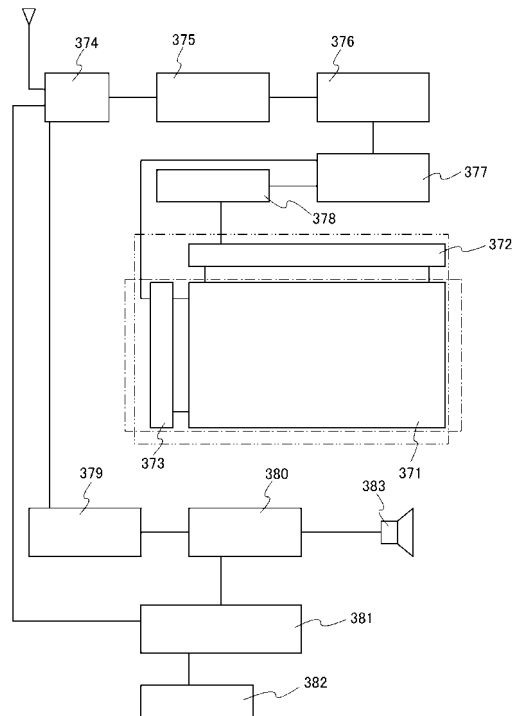
【図 21】



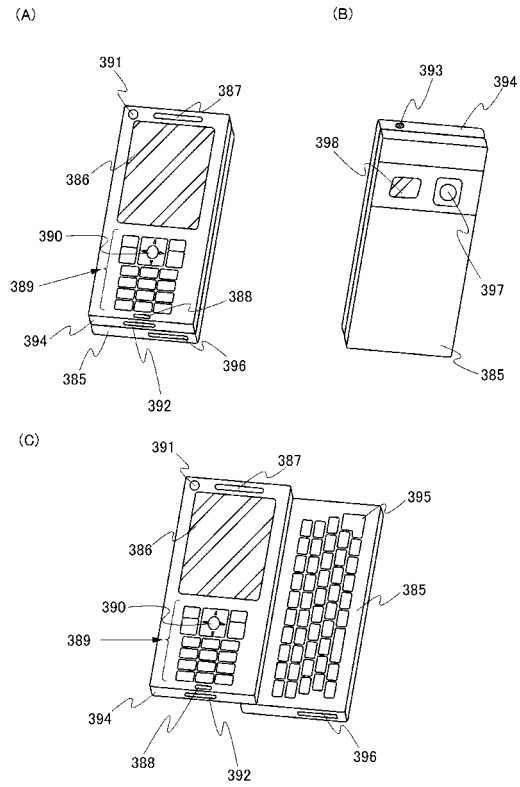
【図 22】



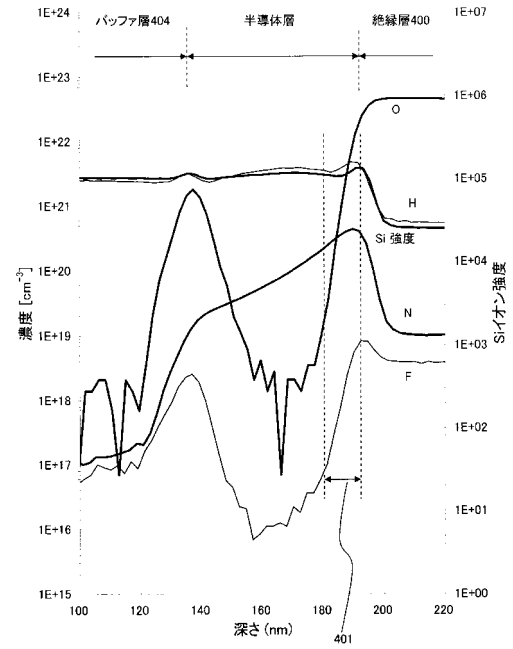
【図 23】



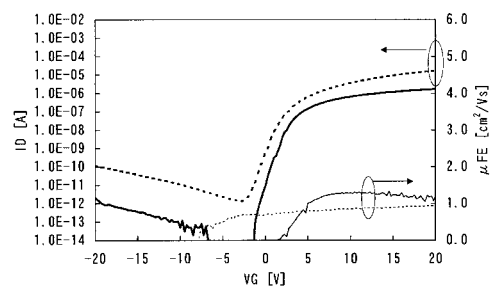
【図 24】



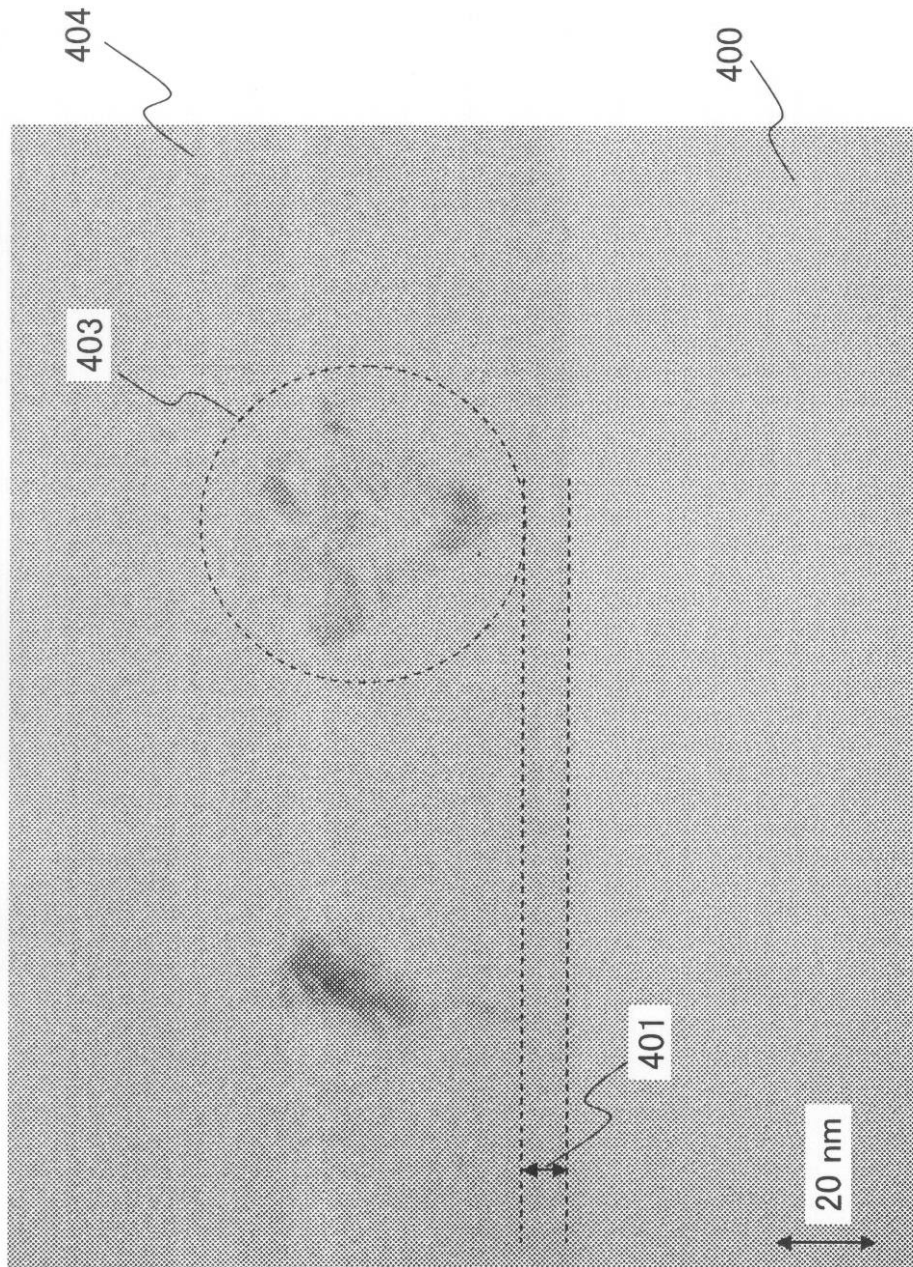
【図 26】



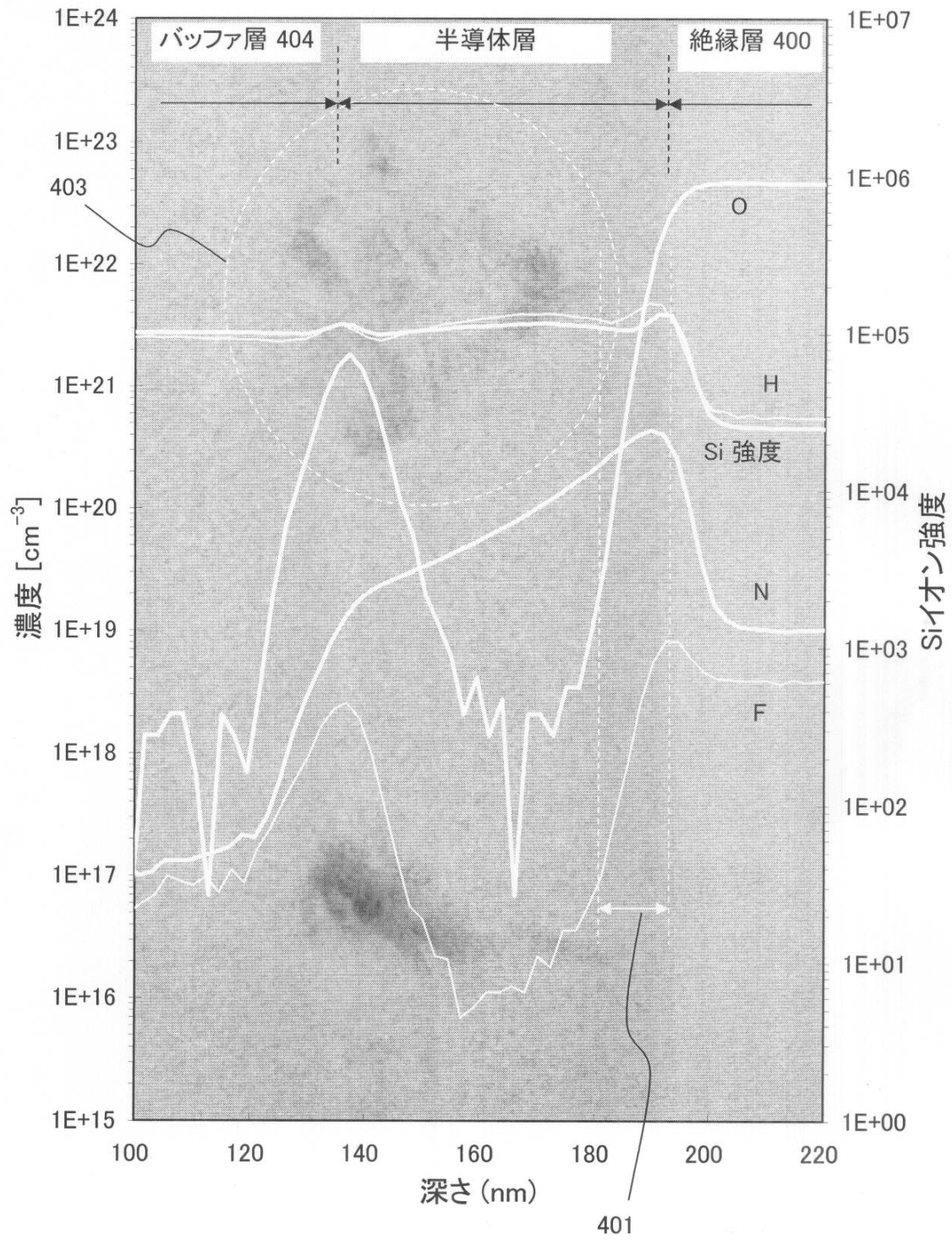
【図 29】



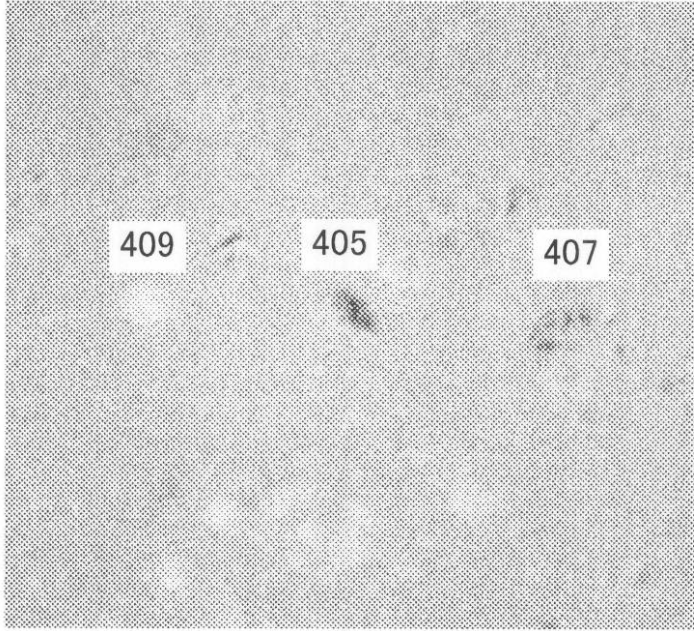
【図 25】



【図 27】

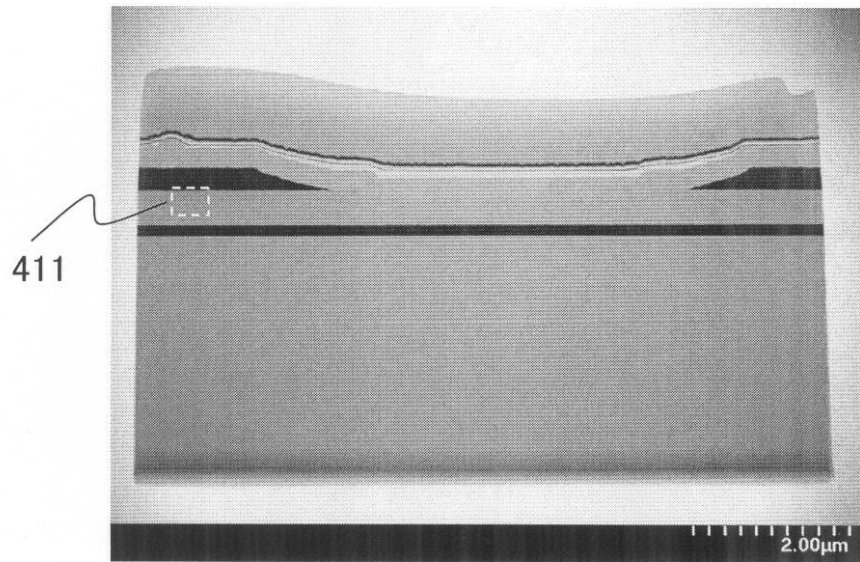


【図 28】

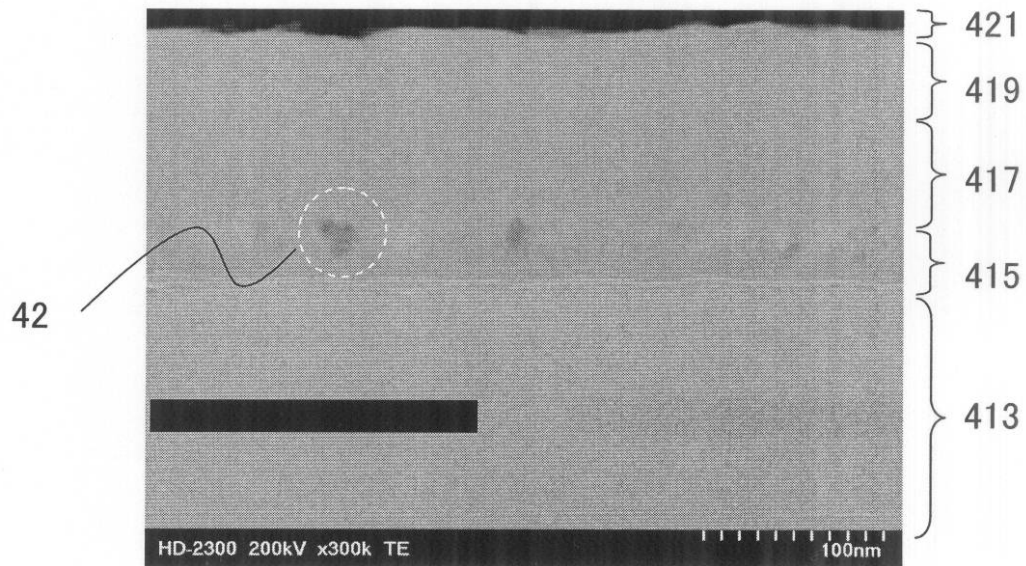


【図 30】

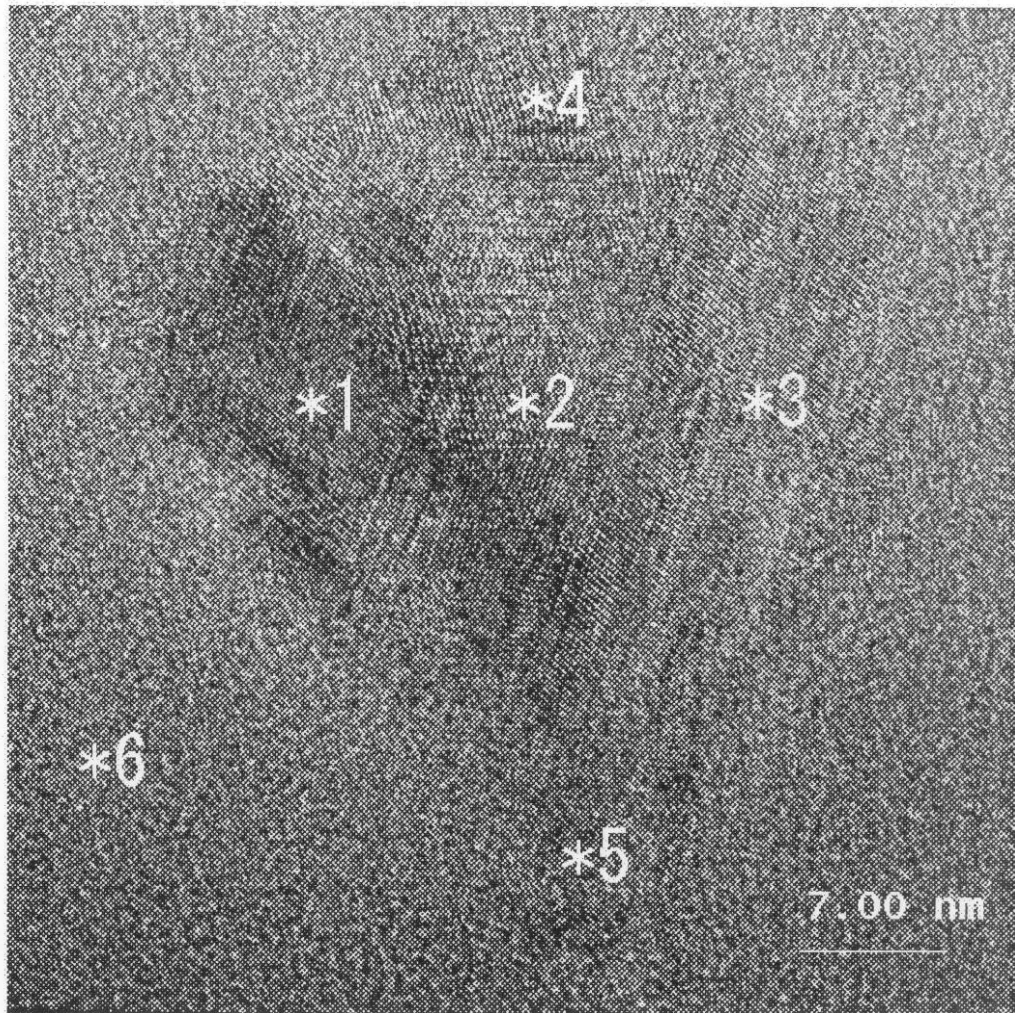
(A)



(B)

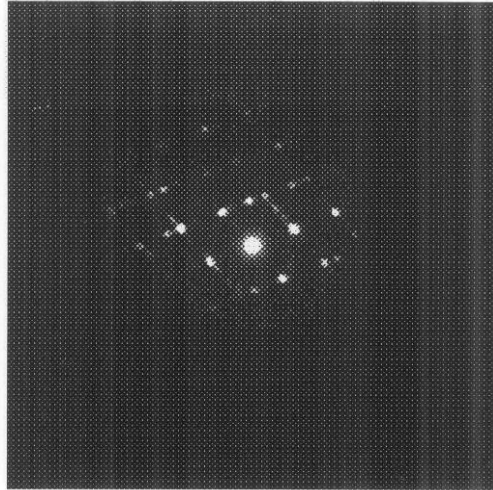


【図 3 1】

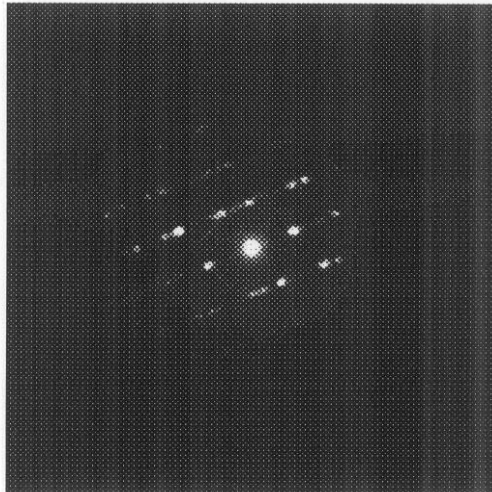


【図 3 2】

(A)

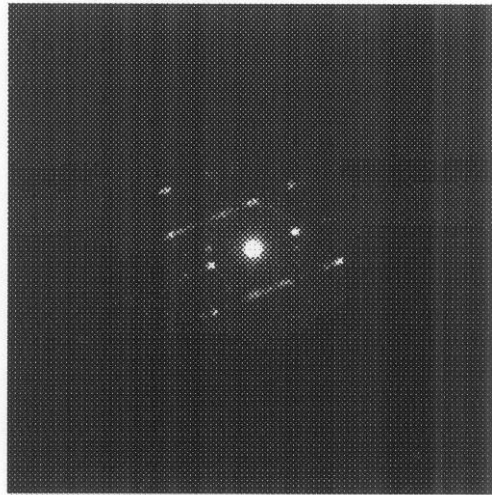


(B)

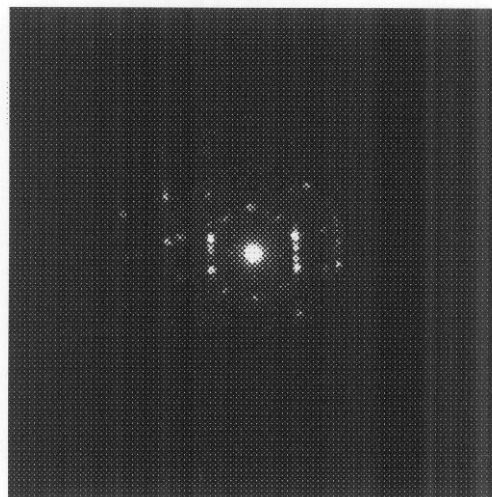


【図 33】

(A)

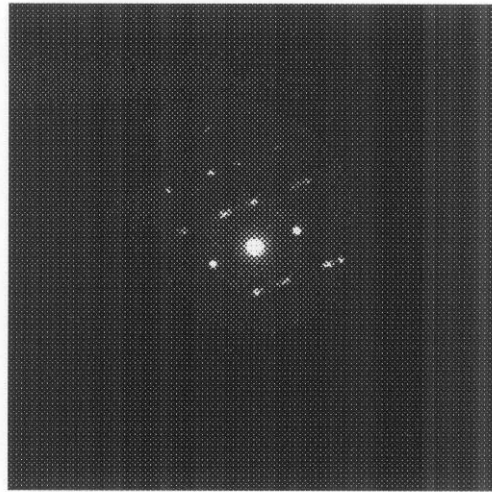


(B)

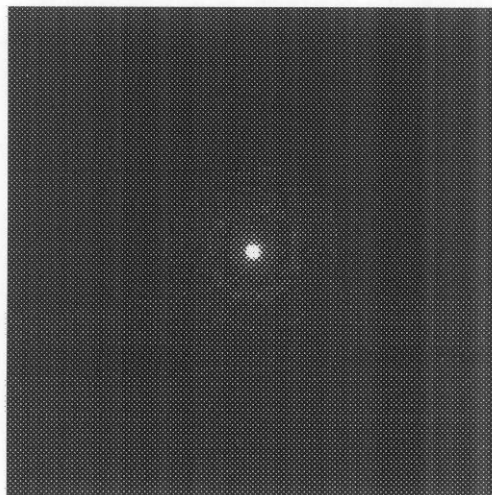


【図 34】

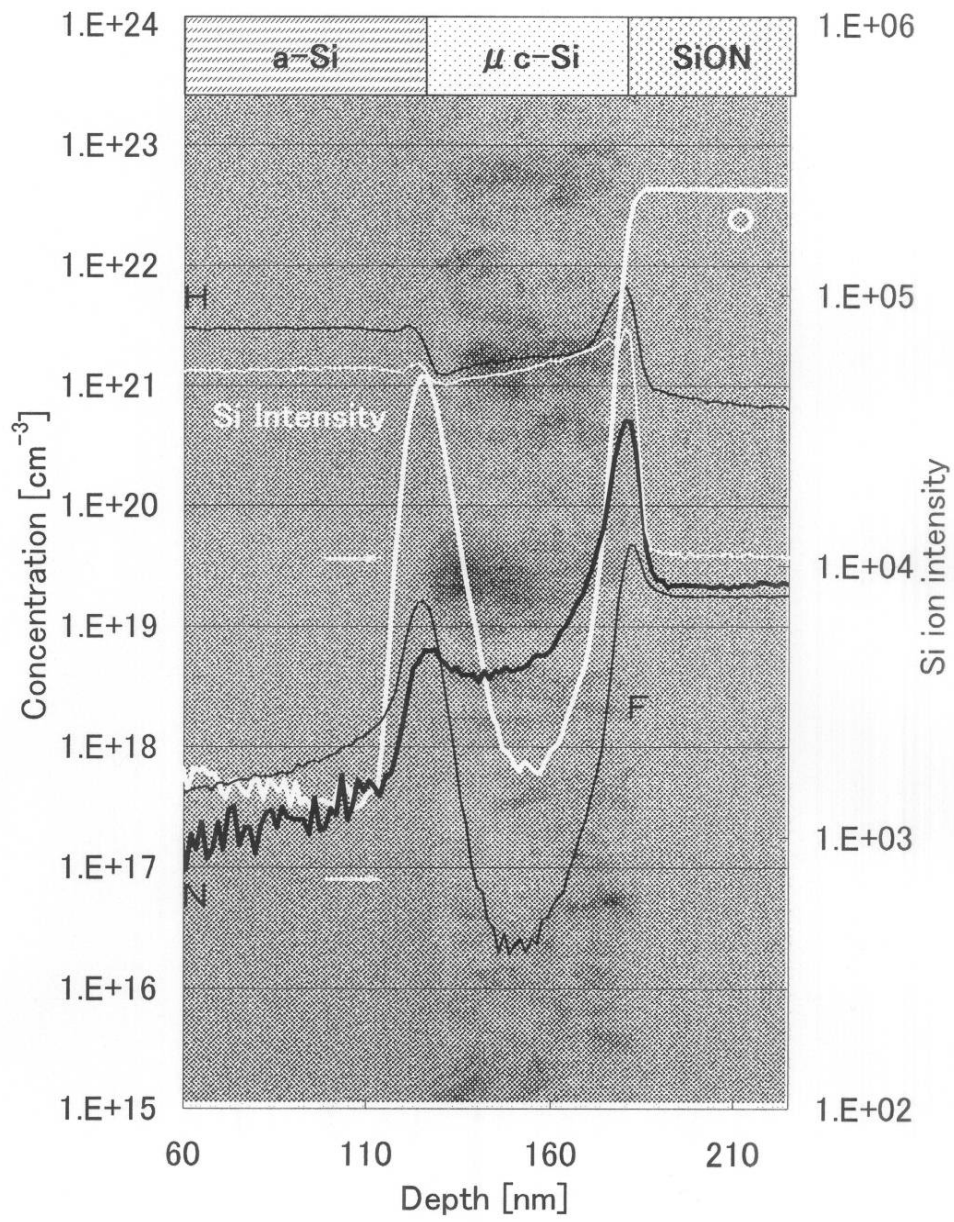
(A)



(B)



【図 35】



フロントページの続き

(72)発明者 伊佐 敏行

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 大橋 達也

(56)参考文献 特開2005-049832(JP,A)

特開2005-045269(JP,A)

特表2004-504721(JP,A)

特開2001-102587(JP,A)

特開平07-094749(JP,A)

鵜飼 育弘, 薄膜トランジスタ技術のすべて 構造, 特性, 製造プロセスから次世代TFTまで
, 日本, 株式会社工業調査会, 2007年10月25日, 第74~79ページT. EHARA, Electron spin resonance study of nitrogen-doped microcrystalline silicon and
amorphous silicon, Applied Surface Science, 1997年, Vol.113, p.126-129H. FUJIWARA et al., Stress-Induced Nucleation of Microcrystalline Silicon from Amorphous
Phase, Japanese Journal of Applied Physics, 2002年, Vol.41, p.2811-2828恵原 貴志 他, 窒素ドーパ微結晶及びSiO₂埋め込み微粒子シリコンの構造特性, 応用物理
学関係連合講演会講演予稿集1997春, (社)応用物理学会, 1997年, 第855ページ

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/336

H01L 21/20

H01L 29/786