

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4230160号
(P4230160)

(45) 発行日 平成21年2月25日(2009.2.25)

(24) 登録日 平成20年12月12日(2008.12.12)

(51) Int.Cl.

F 1

H01L 21/20 (2006.01)

H01L 21/20

H01L 21/336 (2006.01)

H01L 29/78 627G

H01L 29/786 (2006.01)

請求項の数 15 (全 44 頁)

(21) 出願番号 特願2002-93645 (P2002-93645)
 (22) 出願日 平成14年3月29日 (2002.3.29)
 (65) 公開番号 特開2003-173968 (P2003-173968A)
 (43) 公開日 平成15年6月20日 (2003.6.20)
 審査請求日 平成17年3月9日 (2005.3.9)
 (31) 優先権主張番号 特願2001-97226 (P2001-97226)
 (32) 優先日 平成13年3月29日 (2001.3.29)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)
 (31) 優先権主張番号 特願2001-133220 (P2001-133220)
 (32) 優先日 平成13年4月27日 (2001.4.27)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)
 (31) 優先権主張番号 特願2001-296087 (P2001-296087)
 (32) 優先日 平成13年9月27日 (2001.9.27)
 (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 中嶋 節男
 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 宮入 秀和
 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 和瀬田 芳正

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】

絶縁表面上に非晶質構造を有する第1のシリコン膜を形成し、

前記非晶質構造を有する第1のシリコン膜にニッケルを添加し、

前記非晶質構造を有する第1のシリコン膜を加熱処理して結晶構造を有する第1のシリコン膜を形成し、

前記結晶構造を有する第1のシリコン膜に第1のレーザー光を照射して結晶性を向上し、

前記結晶構造を有する第1のシリコン膜の表面にバリア層を形成し、

前記バリア層上にアルゴン元素元素を含み非晶質構造を有する第2のシリコン膜を形成し、

前記第2のシリコン膜に前記ニッケルをゲッタリングして前記結晶構造を有する第1のシリコン膜中の前記ニッケルを除去または低減し、

前記第2のシリコン膜を除去し、

前記バリア層を除去し、

不活性気体雰囲気中または真空中で第2のレーザー光を照射して前記結晶構造を有する第1のシリコン膜の表面の平坦性を向上することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 2】

絶縁表面上に非晶質構造を有する第1のシリコン膜を形成し、

前記非晶質構造を有する第1のシリコン膜にニッケルを添加し、

10

20

前記非晶質構造を有する第1のシリコン膜を加熱処理して結晶構造を有する第1のシリコン膜を形成し、

前記結晶構造を有する第1のシリコン膜に第1のレーザー光を照射して結晶性を向上し、

前記第1のレーザー光の照射によって前記結晶構造を有する第1のシリコン膜上に形成された酸化膜を除去し、

不活性気体雰囲気または真空中で第2のレーザー光を照射して前記結晶構造を有する第1のシリコン膜の表面の平坦性を向上し、

前記結晶構造を有する第1のシリコン膜の表面にバリア層を形成し、

前記バリア層上にアルゴン元素を含み非晶質構造を有する第2のシリコン膜を形成し、

前記第2のシリコン膜に前記ニッケルをゲッタリングして前記結晶構造を有する第1のシリコン膜中の前記ニッケルを除去または低減し、

前記第2のシリコン膜を除去することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項3】

請求項1または請求項2において、

前記バリア層は、オゾンが含まれる溶液を用いて前記結晶構造を有する第1のシリコン膜の表面を酸化して形成することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項4】

請求項1または請求項2において、

前記バリア層は、前記結晶構造を有する第1のシリコン膜の表面に酸素雰囲気下において紫外線を照射して酸化することによって形成することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項5】

請求項1において、

前記バリア層は、前記第1のレーザー光の照射により前記結晶構造を有する第1のシリコン膜の表面を酸化した後、さらにオゾンが含まれる溶液を用いて前記結晶構造を有する第1のシリコン膜の表面を酸化して形成することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項6】

請求項1乃至請求項5のいずれか一項において、

前記ニッケルのゲッタリングは、熱処理により行うことを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項7】

請求項1乃至請求項5のいずれか一項において、

前記ニッケルのゲッタリングは、前記結晶構造を有する第1のシリコン膜に強光を照射することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項8】

請求項1乃至請求項5のいずれか一項において、

前記ニッケルのゲッタリングは、熱処理を行い、且つ、前記結晶構造を有する第1のシリコン膜に強光を照射することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項9】

請求項7または請求項8において、

前記強光は、ハロゲンランプ、メタルハライドランプ、キセノンアークランプ、カーボンアークランプ、高圧ナトリウムランプまたは高圧水銀ランプから射出された光であることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項10】

請求項1乃至請求項9のいずれか一項において、

前記非晶質構造を有する第1のシリコン膜の加熱処理は、熱処理または強光を照射することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項11】

請求項1乃至請求項10のいずれか一項において、

10

20

30

40

50

前記第2のシリコン膜は、アルゴン元素を含む雰囲気中でシリコンをターゲットとするスパッタ法により形成することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項12】

請求項1乃至請求項10のいずれか一項において、

前記第2のシリコン膜は、アルゴン元素を含む雰囲気中でリンまたはボロンを含むシリコンをターゲットとするスパッタ法により形成することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項13】

請求項1乃至請求項12のいずれか一項において、

前記第2のレーザー光のエネルギー密度は、前記第1のレーザー光のエネルギー密度より高いことを特徴とする半導体装置の作製方法。 10

【請求項14】

請求項1乃至請求項13のいずれか一項において、

前記第2のレーザー光のショット数は、前記第1のレーザー光のショット数より少なく、且つ、前記第1のレーザー光のショット数の半数より多いことを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項15】

請求項1乃至請求項14のいずれか一項において、

前記不活性気体雰囲気は、窒素雰囲気と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】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は薄膜トランジスタ（以下、TFTという）で構成された回路を有する半導体装置およびその作製方法に関する。例えば、液晶表示パネルに代表される電気光学装置およびその様な電気光学装置を部品として搭載した電子機器に関する。

【0002】

なお、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し、電気光学装置、発光装置、半導体回路および電子機器は全て半導体装置である。

【0003】

【従来の技術】

近年、絶縁表面を有する基板上に形成された半導体薄膜（厚さ数～数百nm程度）を用いて薄膜トランジスタ（TFT）を構成し、このTFTで形成した大面積集積回路を有する半導体装置の開発が進んでいる。

【0004】

アクティブマトリクス型の液晶モジュール、ELモジュール、および密着型イメージセンサはその代表例として知られている。特に、結晶構造を有するシリコン膜（典型的にはポリシリコン膜）を活性層にしたTFT（以下、ポリシリコントFTと記す）は電界効果移動度が高いことから、いろいろな機能を備えた回路を形成することも可能である。

【0005】

例えば、液晶表示装置に搭載される液晶モジュールには、機能ブロックごとに画像表示を行う画素部や、CMOS回路を基本としたシフトレジスタ回路、レベルシフタ回路、バッファ回路、サンプリング回路などの画素部を制御するための駆動回路が一枚の基板上に形成される。

【0006】

また、アクティブマトリクス型の液晶モジュールの画素部には、数十から数百万個の各画素にTFT（画素TFT）が配置され、その画素TFTのそれぞれには画素電極が設けられている。液晶を挟んだ対向基板側には対向電極が設けられており、液晶を誘電体とした一種のコンデンサを形成している。そして、各画素に印加する電圧をTFTのスイッチング機能により制御して、このコンデンサへの電荷を制御することで液晶を駆動し、透過光

10

20

30

40

50

量を制御して画像を表示する仕組みになっている。

【0007】

画素 TFT は n チャネル型 TFT から成り、スイッチング素子として液晶に電圧を印加して駆動させるものである。液晶は交流で駆動させるので、フレーム反転駆動と呼ばれる方式が多く採用されている。この方式では消費電力を低く抑えるために、画素 TFT に要求される特性はオフ電流値 (TFT がオフ動作時に流れるドレイン電流) を十分低くすることが重要である。

【0008】

従来では、結晶化させたり、結晶性を向上させるため半導体膜にレーザー光による照射を行った場合、半導体膜は表面から瞬時に溶融し、その後、基板への熱伝導のため溶融した半導体膜は基板側から冷却し凝固する。この凝固過程において再結晶化し、大粒径の結晶構造を有する半導体膜となるが、いったん溶融させるため、体積膨張が生じて半導体表面にリッジと呼ばれる凹凸が形成され、特にトップゲート型 TFT の場合にはリッジのある表面がゲート絶縁膜との界面となるため、素子特性が大きく左右されていた。

10

【0009】

一般的にレーザアニールによく用いられるレーザはエキシマレーザ、Ar レーザである。出力の大きいパルス発振のレーザビームを被照射面において、数 cm 角の四角いスポットや、例えは長さ 10 cm 以上の線状となるように光学系にて加工し、レーザビームの照射位置を被照射面に対し相対的に走査させてレーザアニールを行う方法は、生産性が高く量産に優れているため、好んで使用されている。特に、被照射面においてレーザビームの形状が線状であるレーザビーム（以下、線状ビームと表記する）を用いると、前後左右の走査が必要なスポット状のレーザビームを用いた場合とは異なり、線状ビームの線方向に直角な方向だけの走査で被照射面全体にレーザビームを照射することができるため、生産性が高い。線方向に直角な方向に走査するのは、それが最も効率の良い走査方向であるからである。この高い生産性により、レーザアニールには大出力のレーザを適当な光学系で加工した線状ビームを使用することが主流になりつつある。また、この線状ビームをその短尺方向に徐々にずらしながら重ねて照射することにより、非晶質シリコン膜全面に対しレーザアニールを行い、結晶化させたり、結晶性を向上させることができる。

20

【0010】

このように、より高い電気的特性をもつ半導体膜をより安価で作製するためには、レーザアニールの技術が必要不可欠となってきている。

30

【0011】

しかしながら、従来のレーザー光による結晶化では均一なエネルギーが膜全体に与えられず、リッジに加えてレーザー光を照射した波状の跡も残っていた。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】

本発明はこのような問題点を解決するための技術であり、TFT を用いて作製するアクティブマトリクス型の液晶表示装置に代表される電気光学装置ならびに半導体装置において、半導体装置の動作特性を向上させ、各 TFT 間のオフ電流値のバラツキを低減させ、かつ、低消費電力化を図ることを目的としている。

40

【0013】

特に、本発明は、オフ電流値が低く、オフ電流値のバラツキが抑えられた画素 TFT (n チャネル型 TFT) を得ることを目的としている。

【0014】

【課題を解決するための手段】

上記諸問題を解決すべく、各種多方面から数多くの実験、検討を重ねたところ、非晶質構造を有する半導体膜に加熱処理を行って結晶化させ、酸素を含む雰囲気下で半導体膜に第 1 のレーザー光の照射（エネルギー密度 400 ~ 500 mJ / cm²）を行ってさらに結晶性を高めた後、第 1 のレーザー光の照射で形成された酸化膜を除去し、その後に酸素を含まない、もしくは酸素が低減された雰囲気下で第 2 のレーザー光の照射（第 1 のレーザ

50

一光の照射におけるエネルギー密度より高い)を行うことで半導体膜の平坦性を向上させ、上記諸問題、特にオフ電流値およびそのバラツキを低減することができるこを見い出し、本発明に至ったものである。

【0015】

ただし、第1のレーザー光で非晶質構造を有する膜の結晶化を行い第2のレーザー光で平坦化を行う技術(特開2001-60551号公報)とは異なっており、本発明は結晶構造を有する半導体膜に第1のレーザー光を照射し、さらに第2のレーザー光を照射するものである。本発明において、結晶構造を有する半導体膜は、炉を用いた加熱処理で結晶化させる方法、ランプ光源からの強光を用いた加熱処理で結晶化させる方法、金属元素を微量に添加して加熱処理を行って結晶化させる方法、またはLPCVD法などにより成膜段階で結晶構造を有する膜を得る方法のいずれか一用いることによって得られる。10

【0016】

上記第2のレーザー光の照射は、結晶性を高める第1のレーザー光の照射におけるエネルギー密度より $30\text{ mJ/cm}^2 \sim 60\text{ mJ/cm}^2$ 高いエネルギー密度($430 \sim 560\text{ mJ/cm}^2$)とすると、照射前と比較して平坦性が格段に向上する。例えば、照射前と比較して表面粗さ(P-V値、Ra、Rms)が1/2以下、若しくは1/3以下にまで低減される。比較実験を行ったところ、第1のレーザー光よりも 60 mJ/cm^2 高いエネルギー密度とした第2のレーザー光を照射した半導体膜の表面が最も平坦なものとなった。20

【0017】

第1のレーザー光の照射を行った後、酸化膜を除去し、さらに第2のレーザー光を照射した半導体膜を用いてnチャネル型TFTを作製し、そのオフ電流値(Vds = 14V)における確率統計分布を印でプロットして図12中に示す。また、比較のため、同じ図12に第1のレーザー光の照射のみを行ったnチャネル型TFTのオフ電流値における確率統計分布を印でプロットして示す。図12の縦軸はパーセントを示しており、50%の値がオフ電流の平均値に相当する。また、横軸はオフ電流値を示しており、例えばバラツキが大きければ全プロットの占める領域、即ち横幅が大きくなる。第1のレーザー光のみを行ったnチャネル型TFT(印)よりも、第2のレーザー光を行ったnチャネル型TFT(印)のほうが、オフ電流値が低く(平均値においても低く)、バラツキも $3\text{ pA} \sim 20\text{ pA}$ (p = 10^{-12})と小さいことが図12から読み取れる。30

【0018】

また、ニッケルまたは、パラジウム、または鉛等の金属元素を微量に添加して非晶質構造を有する半導体膜を結晶化させるのにかかる時間を短縮する技術(特開平7-183540号公報に記載)を用いれば、例えば550の窒素雰囲気に4時間の加熱処理で特性の良好な結晶構造を有する半導体膜が得られる。この技術は、結晶化に必要とする加熱温度を低下させる効果ばかりでなく、結晶方位の配向性を单一方向に高めることが可能である。このような結晶構造を有する半導体膜でTFTを形成すると、電界効果移動度の向上のみでなく、サブスレッシュルド係数(S値)が小さくなり、飛躍的に電気的特性を向上させることができとなっている。さらにレーザーアニールを行うと加熱処理またはレーザーアニールのどちらかだけで結晶化を行う場合より半導体膜としての特性が向上する場合がある。このレーザーアニールを上記第1のレーザー光の照射とし、酸化膜を除去した後、さらに上記第2のレーザー光の照射を行うことも可能である。なお、高い特性を得るためにには、加熱処理条件とレーザーアニール条件を最適化する必要がある。40

【0019】

また、ニッケルまたは、パラジウム、または鉛等の金属元素を微量に添加することによっても半導体膜表面の平坦性がさらに向上する。

【0020】

結晶化を助長する金属元素を用いることによって、結晶化における核発生が制御可能となるため、核発生がランダムである他の結晶化方法に比べて得られる膜質は均一であり、理想的には、完全に金属元素を除去または許容範囲までに低減することが望ましい。しかし50

、このようにして得られる結晶構造を有する半導体膜には、金属元素（ここではニッケルまたは、パラジウム、または鉛等）が残存している。それは膜中において一様に分布していないにしろ、平均的な濃度とすれば、 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ を越える濃度で残存している。勿論、このような状態でも TFT をはじめ各種半導体素子を形成することが可能であるが、以下に示すゲッタリング技術を用いて当該元素を除去する。

【0021】

まず、結晶構造を有する半導体膜上にエッチングストッパーとなる酸化膜（バリア層）を形成し、希ガス元素を含む半導体膜（ゲッタリングサイト）を形成した後、ゲッタリングサイトに金属元素をゲッタリングさせ、前記希ガス元素を含む半導体膜を除去する。なお、希ガス元素は He、Ne、Ar、Kr、Xe から選ばれた一種または複数種であり、これららのイオンを半導体膜中に含有させることにより、ダングリングボンドや格子歪みを形成してゲッタリングサイトを形成することができる。本明細書中、バリア層とは、ゲッタリング工程において金属元素が通過可能な膜質または膜厚を有し、且つ、ゲッタリングサイトとなる層の除去工程においてエッチングストッパーとなる層を指している。10

【0022】

このゲッタリング技術を適用する際ににおいても、酸化膜を形成する前に第 2 のレーザー光を照射して平坦性を向上させることでゲッタリングの効果を増大することができる。即ち、ゲッタリングを行う前に第 2 のレーザー光を照射して平坦化を行い、金属元素が偏析しやすいリッジを低減することは、極めて有用である。本発明の構成の一つは、半導体膜の平坦化処理を行った後、ゲッタリングを行う工程を有する半導体装置の作製方法である。20

【0023】

また、金属元素を添加して結晶化させた後、第 2 のレーザー光を照射することによっても平坦性が向上する。平坦性が向上することによってゲート絶縁膜の薄膜化が可能となる。

【0024】

第 1 のレーザー光の照射後と、第 2 のレーザー光照射後の半導体膜における表面粗さ（P - V 値、Ra、Rms、Rz、Δa）を AFM でそれぞれ測定した実験結果を図 20 および表 1 に示す。

【0025】

【表 1】

| | P-V 値(nm) | Ra 値(nm) | Rms(nm) | Rz(nm) | Δa |
|--------------|-----------|----------|---------|--------|-------|
| AFM測定エリア(μm) | 4×4 | 50×50 | 4×4 | 50×50 | 4×4 |
| 第1のレーザー照射後 | 91.32 | 102.38 | 10.49 | 8.32 | 12.97 |
| 第2のレーザー照射後 | 20.23 | 36.45 | 2.14 | 1.29 | 2.61 |

30

【0026】

また、図 20 は、ニッケルを添加して加熱処理を行った後、大気下で第 1 のレーザー光（エネルギー密度：452.5 mJ/cm²）の照射を行い、窒素雰囲気下で第 2 のレーザー光（エネルギー密度：501 mJ/cm²）を照射したサンプルを AFM で観察した図である。

【0027】

また、比較のため、金属元素を添加せずに結晶化させた後、同様に第 1 のレーザー光の照射後と、第 2 のレーザー光照射後の半導体膜における表面粗さ（P - V 値、Ra、Rms、Rz、Δa）を AFM でそれぞれ測定した実験結果を図 21 及び表 2 に示す。40

【0028】

【表 2】

| | P-V 値(nm) | Ra 値(nm) | Rms(nm) | Rz(nm) | Δa |
|--------------|-----------|----------|---------|--------|-------|
| AFM測定エリア(μm) | 4×4 | 50×50 | 4×4 | 50×50 | 4×4 |
| 第1のレーザー照射後 | 79.59 | 81.12 | 11.09 | 8.64 | 13.36 |
| 第2のレーザー照射後 | 30.78 | 110.65 | 2.92 | 1.74 | 3.57 |

50

【0029】

また、図21は、大気下で第1のレーザー光（エネルギー密度：452.5 mJ/cm²）の照射を行って結晶化を行い、窒素雰囲気下で第2のレーザー光（エネルギー密度：521 mJ/cm²）を照射したサンプルをAFMで観察した図である。

【0030】

表1、表2より、金属元素を添加して結晶化したほうが、レーザー光照射後における平坦性に優れていることが読み取れる。特に、第2のレーザー光照射後、P-V値においては20.23 nm、Raにおいては1.29 nm、Rmsにおいては1.73 nm、Rzにおいては18 nm、aにおいては0.504°と非常に平坦になっている。なお、測定領域は、4 μm × 4 μmと50 μm × 50 μmでそれぞれ行った。

10

【0031】

特開2001-60551号公報には、非晶質半導体膜に照射する第1のレーザー光で結晶化を行い、第2のレーザー光による照射で半導体膜を平坦化させることの記載はあるが、上記金属元素の添加による平坦性の向上に関する記載やゲッタリング能力の向上に関する記載はなく、全く新規なものである。

【0032】

また、図20、図21より、半導体膜表面の状態もそれぞれ異なっている。

【0033】

また、上記本発明の構成（ゲッタリングの前に平坦化処理を行う工程）においては、特に限定されず、第2のレーザー光による平坦化手段以外の他の平坦化手段（エッチャント液、反応ガスを用いたエッチング（代表的にはドライエッチング）、還元雰囲気（代表的には水素）での高温（900～1200）の熱処理、化学的及び機械的に研磨する処理（代表的にはCMP）等）により平坦化した後、ゲッタリングを行うことでゲッタリングの効果を増大することができる。また、第2のレーザー光による平坦化に加えて、さらに他の上記平坦化手段を組み合わせて行ってもよい。

20

【0034】

或いは、ゲッタリング技術を適用し、エッチングストッパーとした酸化膜を除去した後、第2のレーザー光を照射して平坦性を向上させてもよい。また、希ガス元素を含む半導体膜を形成する際に結晶構造を有する半導体膜に希ガス元素を添加してしまった場合、第2のレーザー光の照射で膜中の希ガス元素を低減、または除去することができる。

30

【0035】

本明細書で開示する発明の構成1は、

絶縁表面上に非晶質構造を有する半導体膜を形成する第1工程と、

前記第1の半導体膜を加熱処理した後、第1のレーザー光を照射して結晶化を行い、結晶構造を有する半導体膜及び該膜上に酸化膜とを形成する第2工程と、前記酸化膜を除去する第3工程と、

不活性気体雰囲気または真空中で第2のレーザー光を照射して前記半導体膜の表面を平坦化する第4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。

【0036】

上記構成1において、前記第4工程における第2のレーザー光のエネルギー密度は、前記第2工程における第1のレーザー光のエネルギー密度より高いことを特徴としている。上記第2のレーザー光の照射は、第1のレーザー光の照射におけるエネルギー密度より30 mJ/cm²～60 mJ/cm²高いエネルギー密度とすると、照射前と比較して平坦性が格段に向上する。

40

【0037】

また、上記構成1において、エネルギー密度の高い第2のレーザー光を不活性気体雰囲気または真空中で照射すると、半導体膜の表面に微小な穴が形成されやすいうことを発明者らは見出した。この微小な穴によって、 TFTの電気特性（S値、Vth）などのバラツキを招く恐れがある。そこで、本発明は、第2のレーザー光のショット数を第1のレーザー光のショット数（10～15）より少なくすることによって、照射時に発生しやすい微小

50

な穴を低減し、且つ、ショット数と同じにした場合と同等の平坦性が得られることを見出した。また、ショット数を少なくすることによってレーザー処理時間は短縮することができる。また、第1のレーザー光のショット数を12.6とし、第2のレーザー光のショット数を12.6、8.4、6.3、5.04、4.2と変化させて表面状態を観察したところ、第1のレーザー光のショット数の半数より少ない場合にはレーザー光の縞が確認できることから、第2のレーザー光のショット数は、第1のレーザー光のショット数の半数より多くすることが好ましい。

【0038】

なお、本明細書中、レーザー光のショット数とは、ある点（領域）に照射されるレーザー光の照射回数を指し、ビーム幅、スキャン速度、周波数、またはオーバーラップ率などで決定される。また、線状のビームのあるスキャン方向に移動させているパルスとパルスの間、即ち、一つのショットと次のショットの間にオーバーラップする部分があり、その重なる比率がオーバーラップ率である。なお、オーバーラップ率が100%に近ければ近いほどショット数は多く、離れれば離れるほどショット数は少くなり、スキャン速度が速ければ速いほどショット数は少なくなる。

10

【0039】

以下の実験を行った。

【0040】

ガラス基板上に膜厚150nmの下地絶縁膜（膜厚50nmの第1酸化窒化シリコン膜と膜厚100nmの第2酸化窒化シリコン膜）を形成し、下地絶縁膜上に54nmの非晶質シリコン膜をプラズマCVD法にて形成した。次いで、オゾン水で非晶質シリコン膜表面に酸化膜を形成した後、重量換算で10ppmのニッケルを含む酢酸ニッケル塩溶液をスピナーで塗布する。次いで、熱処理（500の熱処理1時間と、550の熱処理4時間）を行い、結晶化を行った。

20

【0041】

次いで、表面を洗浄して自然酸化膜等を除去した後、結晶化率（膜の全体積における結晶成分の割合）を高め、結晶粒内に残される欠陥を補修するために、レーザー光（第1のレーザー光：エネルギー密度493mJ/cm²、ショット数11.7、オーバーラップ率92%、ビーム幅390μm、ビーム長12cm、スキャン速度1mm/sec、周波数30Hz）を大気下で照射した。この後、ゲッタリングを行い、TFTを作製したものをリフアレンス（Ref）とする。

30

【0042】

また、上記第1のレーザー光を照射した後、フッ酸を含むエッチャントで酸化膜（レーザー光による酸化膜）を除去し、窒素雰囲気下で第2のレーザー光（エネルギー密度512mJ/cm²、ショット数11.7、オーバーラップ率92%、ビーム幅390μm、ビーム長12cm、スキャン速度1mm/sec、周波数30Hz）を照射して表面の凹凸を平坦化した。この後、ゲッタリングを行い、TFTを作製したものをサンプルWLCとする。

30

【0043】

また、上記第1のレーザー光（ショット数11.7）を照射した後、フッ酸を含むエッチャントで酸化膜（レーザー光による酸化膜）を除去し、窒素雰囲気下で第2のレーザー光（エネルギー密度512mJ/cm²、ショット数5.85、オーバーラップ率82.9%、ビーム幅390μm、ビーム長12cm、スキャン速度2mm/sec、周波数30Hz）を照射して表面の凹凸を平坦化した。この後、ゲッタリングを行い、TFTを作製したものをサンプル11.7/5.9WLCとする。

40

【0044】

上記3つの条件により得られたTFT（L/W=10μm/8μm）のS値（サブスレッシュルド係数）、Shift-1（I-Vカーブの立ち上がりの電圧値）、Vth（I-V特性グラフにおける立ち上がり点での電圧値）をそれぞれ100点測定し、それらの標準偏差を求めたグラフを図24、図25に示す。図24はnチャネル型TFT、図25はpチ

50

ヤネル型 TFT である。

【 0 0 4 5 】

図 24、図 25 から、ショット数の同じレーザーを 2 回照射したサンプル WLC は、リファレンスに比べて S 値、Shift - 1、Vth のバラツキが大きいことが読み取れる。一方、2 回目のレーザー光のショット数を半分にしたサンプル 11.7 / 5.9 WLC は、サンプル WLC よりもバラツキを低減できることが確認できた。

【 0 0 4 6 】

さらに、上記 3 つの条件により得られた n チャネル型 TFT のゲート電圧を 40V とした場合のゲートリーク電流（オフ電流とも呼べる）を測定した。また、TFT サイズは、L / W = 10 μm / 8 μm と、L / W = 10 μm / 200 μm の 2 つを測定した。これらの結果を図 26 に示す。2 回目のレーザー光のショット数を半分にしても、ショット数の同じレーザーを 2 回照射したサンプル WLC と同程度にゲートリーク電流を低減することができることが確認できる。

【 0 0 4 7 】

他の発明の構成 2 は、

絶縁表面上に非晶質構造を有する第 1 の半導体膜を形成する第 1 工程と、

前記非晶質構造を有する第 1 の半導体膜に金属元素を添加する第 2 工程と、

前記第 1 の半導体膜を加熱処理した後、第 1 のレーザー光を照射して結晶構造を有する第 1 の半導体膜及び該膜上に酸化膜を形成する第 3 工程と、

前記結晶構造を有する半導体膜の表面をオゾンを含む溶液で酸化する第 4 工程と、

前記酸化膜上に希ガス元素を含む第 2 の半導体膜を形成する第 5 工程と、

前記第 2 の半導体膜に前記金属元素をゲッタリングして結晶構造を有する第 1 の半導体膜中の前記金属元素を除去または低減する第 6 工程と、

前記第 2 の半導体膜を除去する第 7 工程と、

前記酸化膜を除去する第 8 工程と、

不活性気体雰囲気または真空中で第 2 のレーザー光を照射して前記第 1 の半導体膜の表面を平坦化する第 9 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。

【 0 0 4 8 】

上記構成 2 のように、シリコンの結晶化を助長する金属元素を用いて結晶化に要する時間の短縮、或いは結晶化に要する加熱温度の低減を図り、ゲッタリングを行った後に第 2 のレーザー光を照射して平坦化を行い、膜中の希ガス元素を低減することは、極めて有用である。

【 0 0 4 9 】

上記構成 2 において、前記第 6 工程は、炉を用いて行われる熱処理、或いは前記半導体膜に強光を照射する処理、或いは、熱処理を行い、且つ、前記半導体膜に強光を照射する処理であることを特徴としている。

【 0 0 5 0 】

なお、上記強光は、ハロゲンランプ、メタルハライドランプ、キセノンアークランプ、カーボンアークランプ、高圧ナトリウムランプ、または高圧水銀ランプから射出された光であることを特徴としている。

【 0 0 5 1 】

また、上記構成 2 において、前記第 9 工程における第 2 のレーザー光のエネルギー密度は、前記第 3 工程における第 1 のレーザー光のエネルギー密度より高いことを特徴としている。

【 0 0 5 2 】

また、上記構成 2 において、前記第 9 工程における第 2 のレーザー光のショット数は、前記第 2 工程における第 1 のレーザー光のショット数より少なく、且つ、該第 1 のレーザー光のショット数の半数より多いことを特徴としている。

【 0 0 5 3 】

他の発明の構成 3 は、

10

20

30

40

50

絶縁表面上に非晶質構造を有する第1の半導体膜を形成する第1工程と、
 前記非晶質構造を有する第1の半導体膜に金属元素を添加する第2工程と、
 前記第1の半導体膜を加熱処理した後、第1のレーザー光を照射して結晶化を行い、結晶
 構造を有する第1の半導体膜及び該膜上に酸化膜とを形成する第3工程と、
 前記酸化膜を除去する第4工程と、
 不活性気体雰囲気または真空中で第2のレーザー光を照射して前記第1の半導体膜の表面
 を平坦化する第5工程と、
 前記結晶構造を有する第1の半導体膜の表面にバリア層を形成する第6の工程と、
 前記バリア層上に希ガス元素を含む第2の半導体膜を形成する第7工程と、
 前記第2の半導体膜に前記金属元素をゲッタリングして結晶構造を有する第1の半導体膜 10
 中の前記金属元素を除去または低減する第8工程と、
 前記第2の半導体膜を除去する第9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。

【0054】

また、上記構成3のように、シリコンの結晶化を助長する金属元素を用いて結晶化に要す
 る時間の短縮、或いは結晶化に要する加熱温度の低減を図り、ゲッタリングを行う前に第
 2のレーザー光を照射して平坦化を行い、金属元素が偏析しやすいリッジを低減することは、極めて有用である。

【0055】

また、上記構成3において、前記バリア層を形成する第6の工程は、オゾンを含む溶液で
 前記結晶構造を有する半導体膜の表面を酸化する工程、或いは、紫外線の照射で前記結晶
 構造を有する半導体膜の表面を酸化する工程、或いは、レーザー光の照射により前記結晶
 構造を有する半導体膜の表面を酸化した後、さらにオゾンを含む溶液で前記結晶構造を有
 する半導体膜の表面を酸化する工程、或いはこれらを組み合わせた工程であることを特徴
 としている。

【0056】

また、上記構成3において、前記第8工程は、炉を用いて行われる熱処理、或いは前記半
 導体膜に強光を照射する処理、或いは、熱処理を行い、且つ、前記半導体膜に強光を照射
 する処理であることを特徴としている。

【0057】

また、上記構成3において、前記第4工程は、前記第3工程で形成される酸化膜を除去した
 後、前記第3工程における第1のレーザー光のショット数より少なく、且つ、該第1の
 レーザー光のショット数の半数より多い第2のレーザー光を照射することを特徴としている。

【0058】

なお、上記強光は、ハロゲンランプ、メタルハライドランプ、キセノンアークランプ、カ
 ーボンアークランプ、高圧ナトリウムランプ、または高圧水銀ランプから射出された光で
 あることを特徴としている。

【0059】

また、上記構成1乃至3のいずれかにおいて、前記不活性気体雰囲気は、窒素雰囲気で
 あることを特徴としている。

【0060】

また、上記構成2または上記構成3において、第3工程における加熱処理は、熱処理または
 強光の照射であることを特徴としている。

【0061】

また、上記構成2または上記構成3において、前記第2の半導体膜は、希ガス元素を含む
 雰囲気中で半導体をターゲットとするスパッタ法により形成することを特徴としている。
 また、第2の半導体膜は、プラズマCVD法または減圧熱CVD法で半導体膜を形成する
 工程と、該半導体膜に希ガス元素を添加する工程とによって形成してもよい。また、プラ
 ズマCVD法または減圧熱CVD法で希ガス元素を含む第2の半導体膜を成膜してもよい 50

。

【 0 0 6 2 】

また、上記構成 2 または上記構成 3 において、前記第 2 の半導体膜は、希ガス元素を含む雰囲気中でリンまたはボロンを含む半導体をターゲットとするスパッタ法により形成してもよい。

【 0 0 6 3 】

また、上記構成 2 または上記構成 3 において、前記金属元素は Fe、Ni、Co、Ru、Rh、Pd、Os、Ir、Pt、Cu、Au から選ばれた一種または複数種であることを特徴としている。中でもシリコンの結晶化を助長する上で、Ni が最適である。

【 0 0 6 4 】

また、上記構成 2 または上記構成 3 において、前記希ガス元素は He、Ne、Ar、Kr、Xe から選ばれた一種または複数種であることを特徴としている。中でも安価なガスである Ar が最適である。

【 0 0 6 5 】

また、上記構成 1 乃至 3 のいずれか一において、前記不活性気体雰囲気または真空中での第 2 のレーザー光を選択的に照射してもよい。例えば、画素部と駆動回路とを同一基板上に形成する場合、オフ電流の低減およびそのバラツキが重要視される画素部のみに前記不活性気体雰囲気または真空中での第 2 のレーザー光を選択的に照射して平坦化してもよい。

。

【 0 0 6 6 】

また、上記第 1 のレーザー光及び上記第 2 のレーザー光としては、エキシマレーザー等の気体レーザーや、YVO₄レーザーやYAGレーザーなどの固体レーザーや、半導体レーザーを用いればよい。また、レーザー発振の形態は、連続発振、パルス発振のいずれでもよく、レーザービームの形状も線状、矩形状、円状、楕円状のいずれでもよい。また、使用する波長は、基本波、第 2 高調波、第 3 高調波のいずれでもよく、適宜選択すればよい。また、走査方法は、縦方向、横方向、斜め方向のいずれでもよく、さらに往復させてもよい。

【 0 0 6 7 】

また、上記第 2 のレーザー光を照射することによって、下地膜や基板の凹凸と無関係に平坦化することができる。従って、半導体膜の形成前に基板上に微小なゴミなどが付着してしまっても、第 2 のレーザー光を照射することによって半導体膜表面を平坦なものとすることができる。

【 0 0 6 8 】

【 発明の実施の形態 】

本発明の実施形態について、以下に説明する。

【 0 0 6 9 】

本発明は、絶縁表面上に非晶質構造を有する半導体膜を形成するプロセスと、該半導体膜に結晶化を助長する金属元素を添加するプロセスと、加熱処理を行い結晶構造を有する半導体膜を形成するプロセスと、該半導体膜の結晶性を高める第 1 のレーザー光を大気または酸素雰囲気で照射して酸化膜を形成するプロセスと、該酸化膜を除去するプロセスと、第 1 のレーザー光より高いエネルギー密度、例えば 30 mJ / cm² ~ 60 mJ / cm² の分だけ高いエネルギー密度を有する第 2 のレーザー光を不活性気体雰囲気または真空中で照射して半導体膜表面を平坦化するプロセスと、ゲッタリングして結晶構造を有する半導体膜中の金属元素を除去または低減するプロセスとを有している。なお第 2 のレーザー光を照射して半導体表面を平坦化するプロセスは、ゲッタリングを行った後であってもよいし、結晶構造を有する半導体膜を所望の形状にパターニングした後に行ってもよい。

【 0 0 7 0 】

以下に本発明を用いた代表的な TFT の作製手順を簡略に図 1 ~ 図 3 を用いて示す。

【 0 0 7 1 】

(実施の形態 1)

10

20

30

40

50

図1(A)中、100は、絶縁表面を有する基板、101はブロッキング層となる絶縁膜、102は非晶質構造を有する半導体膜である。

【0072】

図1(A)において、基板100はガラス基板、石英基板、セラミック基板などを用いることができる。また、シリコン基板、金属基板またはステンレス基板の表面に絶縁膜を形成したものを用いても良い。また、本工程の処理温度に耐えうる耐熱性を有するプラスチック基板を用いてもよい。

【0073】

まず、図1(A)に示すように基板100上に酸化シリコン膜、窒化シリコン膜または酸化窒化シリコン膜(SiO_xN_y)等の絶縁膜から成る下地絶縁膜101を形成する。代表的な一例は下地絶縁膜101として2層構造から成り、 SiH_4 、 NH_3 、及び N_2O を反応ガスとして成膜される第1酸化窒化シリコン膜を50~100nm、 SiH_4 、及び N_2O を反応ガスとして成膜される第2酸化窒化シリコン膜を100~150nmの厚さに積層形成する構造が採用される。また、下地絶縁膜101の一層として膜厚10nm以下の窒化シリコン膜(SiN 膜)、或いは第2酸化窒化シリコン膜(SiN_xO_y 膜(X Y))を用いることが好ましい。ゲッタリングの際、ニッケルは酸素濃度の高い領域に移動しやすい傾向があるため、半導体膜と接する下地絶縁膜を窒化シリコン膜とすることは極めて有効である。また、第1酸化窒化シリコン膜、第2酸化窒化シリコン膜、窒化シリコン膜とを順次積層した3層構造を用いてもよい。

【0074】

次いで、下地絶縁膜上に非晶質構造を有する第1の半導体膜102を形成する。第1の半導体膜102は、シリコンを主成分とする半導体材料を用いる。代表的には、非晶質シリコン膜又は非晶質シリコンゲルマニウム膜などが適用され、プラズマCVD法や減圧CVD法、或いはスパッタ法で10~100nmの厚さに形成する。後の結晶化で良質な結晶構造を有する半導体膜を得るために、非晶質構造を有する第1の半導体膜102の膜中に含まれる酸素、窒素などの不純物濃度を $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ (二次イオン質量分析法(SIMS)にて測定した原子濃度)以下に低減させておくと良い。これらの不純物は後の結晶化を妨害する要因となり、また、結晶化後においても捕獲中心や再結合中心の密度を増加させる要因となる。そのために、高純度の材料ガスを用いることはもとより、反応室内の鏡面処理(電界研磨処理)やオイルフリーの真空排気系を備えた超高真空対応のCVD装置を用いることが望ましい。

【0075】

次いで、非晶質構造を有する第1の半導体膜102を結晶化させる技術としてここでは特開平8-78329号公報記載の技術を用いて結晶化させる。同公報記載の技術は、非晶質シリコン膜(アモルファスシリコン膜とも呼ばれる)に対して結晶化を助長する金属元素を選択的に添加し、加熱処理を行うことで添加領域を起点として広がる結晶構造を有する半導体膜を形成するものである。まず、非晶質構造を有する第1の半導体膜102の表面に、結晶化を促進する触媒作用のある金属元素(ここでは、ニッケル)を重量換算で1~100ppm含む酢酸ニッケル塩溶液をスピナーで塗布してニッケル含有層103を形成する。

(図1(B))塗布によるニッケル含有層103の形成方法以外の他の手段として、スパッタ法、蒸着法、またはプラズマ処理により極薄い膜を形成する手段を用いてもよい。また、ここでは、全面に塗布する例を示したが、マスクを形成して選択的にニッケル含有層を形成してもよい。

【0076】

次いで、加熱処理を行い、結晶化を行う。この場合、結晶化は半導体の結晶化を助長する金属元素が接した半導体膜の部分でシリサイドが形成され、それを核として結晶化が進行する。こうして、図1(C)に示す結晶構造を有する第1の半導体膜104aが形成される。なお、結晶化後での第1の半導体膜104aに含まれる酸素濃度は、 $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下とすることが望ましい。ここでは、脱水素化のための熱処理(450、1時間)の後、結晶化のための熱処理(550~650で4~24時間)を行う。また、強

10

20

30

40

50

光の照射により結晶化を行う場合は、赤外光、可視光、または紫外光のいずれか一またはそれらの組み合わせを用いることが可能であるが、代表的には、ハロゲンランプ、メタルハライドランプ、キセノンアークランプ、カーボンアークランプ、高圧ナトリウムランプ、または高圧水銀ランプから射出された光を用いる。ランプ光源は、1～60秒、好ましくは30～60秒点灯させ、それを1回～10回繰り返し、半導体膜が瞬間的に600～1000程度にまで加熱すればよい。なお、必要であれば、強光を照射する前に非晶質構造を有する第1の半導体膜102に含有する水素を放出させる熱処理を行ってもよい。また、熱処理と強光の照射とを同時にやって結晶化を行ってもよい。生産性を考慮すると、結晶化は強光の照射により結晶化を行うことが望ましい。

【0077】

10

このようにして得られる第1の半導体膜104aには、金属元素（ここではニッケル）が残存している。それは膜中において一様に分布していないにしろ、平均的な濃度とすれば、 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ を越える濃度で残存している。勿論、このような状態でもTFTをはじめ各種半導体素子を形成することが可能であるが、以降に示す方法で当該元素を除去する。

【0078】

20

次いで、結晶化率（膜の全体積における結晶成分の割合）を高め、結晶粒内に残される欠陥を補修するために、結晶構造を有する第1の半導体膜104aに対してレーザー光（第1のレーザー光）を大気または酸素雰囲気で照射する。レーザー光（第1のレーザー光）を照射した場合、表面に凹凸が形成されるとともに薄い酸化膜105aが形成される。（図1（D））このレーザー光（第1のレーザー光）にはパルス発振型または連続発振型である波長400nm以下のエキシマレーザーやYAGレーザーやYVO₄レーザー、YLFレーザ、YAlO₃レーザ、ガラスレーザ、ルビーレーザ、アレキサンンドライドレーザ、Ti：サファイアレーザなどを用いることができる。また、エキシマレーザー光に代えて紫外光ランプから発する光を用いてもよい。

【0079】

これらのレーザーを用いる場合には、レーザー発振器から放射されたレーザー光を光学系で線状に集光し半導体膜に照射する方法を用いると良い。結晶化の条件は実施者が適宜選択するものであるが、パルス発振型のエキシマレーザーを用いる場合はパルス発振周波数30Hzとし、レーザーエネルギー密度を100～400mJ/cm²（代表的には200～300mJ/cm²）とする。また、パルス発振型のYAGレーザーやYVO₄レーザーを用いる場合にはその第2高調波または第3高調波を用いパルス発振周波数1～10kHzとし、レーザーエネルギー密度を300～600mJ/cm²（代表的には350～500mJ/cm²）とする。そして幅100～1000μm、例えば400μmで線状に集光したレーザー光を基板全面に渡って照射し、この時の線状レーザー光の重ね合わせ率（オーバーラップ率）を80～98%として行えばよい。

30

【0080】

また、YVO₄レーザで代表される連続発振型のレーザーを用いる場合、出力10Wの連続発振のYVO₄レーザから射出されたレーザ光を非線形光学素子により高調波（第2高調波～第4高調波）に変換する。また、共振器の中にYVO₄結晶と非線形光学素子を入れて、高調波を射出する方法もある。そして、好ましくは光学系により照射面にて矩形状または橢円形状のレーザ光に成形して、被処理体に照射する。このときのエネルギー密度は0.01～100MW/cm²程度（好ましくは0.1～10MW/cm²）が必要である。そして、0.5～2000cm/s程度の速度でレーザ光に対して相対的に半導体膜を移動させて照射すればよい。

40

【0081】

さらに、オゾン含有水溶液（代表的にはオゾン水）で酸化膜（ケミカルオキサイドと呼ばれる）を形成して合計1～10nmの酸化膜からなるバリア層105bを形成し、このバリア層105b上に希ガス元素を含む第2の半導体膜106を形成する。（図1（E））なお、ここでは、結晶構造を有する第1の半導体膜104aに対してレーザー光を照射し

50

た場合に形成される酸化膜 105a もバリア層の一部と見なしている。このバリア層 105b は、後の工程で第 2 の半導体膜 106 のみを選択的に除去する際にエッチングストップとして機能する。また、オゾン含有水溶液に代えて、硫酸、塩酸、硝酸などと過酸化水素水を混合させた水溶液で処理しても同様にケミカルオキサイドを形成することができる。また、他のバリア層 105b の形成方法としては、酸素雰囲気下の紫外線の照射でオゾンを発生させて前記結晶構造を有する半導体膜の表面を酸化して形成してもよい。また、他のバリア層 105b の形成方法としては、プラズマ CVD 法やスパッタ法や蒸着法などで 1 ~ 10 nm 程度の酸化膜を堆積してバリア層としても良い。

【0082】

バリア層の形成にプラズマ CVD 法やスパッタ法や蒸着法などを用いる場合には、前記結晶構造を有する半導体膜の表面を洗浄し、自然酸化膜やレーザー光の照射により形成された酸化膜などを除去した後で形成することが望ましい。

10

【0083】

また、バリア層の形成にプラズマ CVD 法を用いる場合、原料ガスとしてシラン系ガス（モノシラン、ジシラン、トリシラン等）と窒素酸化物系ガス（NO_x で表記されるガス）を用いる。例えば、原料ガスとしてモノシラン（SiH₄）と亜酸化窒素（N₂O）、或いは、TEOS ガスと N₂O、或いは TEOS ガスと N₂O と O₂ を用い、10 nm 以下、好みしくは 5 nm 以下の酸化窒化シリコン膜を形成する。この酸化窒化シリコン膜は、オゾン含有水溶液（代表的にはオゾン水）で得られる酸化膜（ケミカルオキサイドと呼ばれる）や、酸素雰囲気下の紫外線の照射でオゾンを発生させて結晶構造を有する半導体膜の表面を酸化して得られる酸化膜と比較して、結晶構造を有する第 1 の半導体膜との密着性が高く、後の工程（第 2 の半導体膜の形成）でピーリングが発生しない。さらに密着性を高くするために、バリア層の形成前にアルゴンプラズマ処理を行ってもよい。また、ゲッタリングさせる工程においても、上記膜厚範囲の酸化窒化シリコン膜であれば、金属元素がバリア層を通過してゲッタリングサイトに移動させることができる。

20

【0084】

また、他のバリア層 105 の形成方法としては、クリーンオープンを用い、200 ~ 350 度に加熱して薄い酸化膜を形成しても良い。なお、バリア層 105b は、上記方法のいずれか一の方法、またはそれらの方法を組み合わせて形成されたものであれば特に限定されないが、後のゲッタリングで第 1 の半導体膜中のニッケルが第 2 の半導体膜に移動可能な膜質または膜厚とすることが必要である。

30

【0085】

ここでは、希ガス元素を含む第 2 の半導体膜 106 をスパッタ法にて形成し、ゲッタリングサイトを形成する。（図 1 (E)）なお、第 1 の半導体膜には希ガス元素が添加されないようにスパッタ条件を適宜調節することが望ましい。希ガス元素としてはヘリウム（He）、ネオン（Ne）、アルゴン（Ar）、クリプトン（Kr）、キセノン（Xe）から選ばれた一種または複数種を用いる。中でも安価なガスであるアルゴン（Ar）が好みしい。ここでは希ガス元素を含む雰囲気でシリコンからなるターゲットを用い、第 2 の半導体膜を形成する。膜中に不活性気体である希ガス元素イオンを含有させる意味は二つある。一つはダンギングボンドを形成し半導体膜に歪みを与えることであり、他の一つは半導体膜の格子間に歪みを与えることである。半導体膜の格子間に歪みを与えるにはアルゴン（Ar）、クリプトン（Kr）、キセノン（Xe）などシリコンより原子半径の大きな元素を用いた時に顕著に得られる。また、膜中に希ガス元素を含有させることにより、格子歪だけでなく、不対結合手も形成させてゲッタリング作用に寄与する。

40

【0086】

また、一導電型の不純物元素であるリンを含むターゲットを用いて第 2 の半導体膜を形成した場合、希ガス元素によるゲッタリングに加え、リンのクーロン力をを利用してゲッタリングを行うことができる。

【0087】

また、ゲッタリングの際、ニッケルは酸素濃度の高い領域に移動しやすい傾向があるため

50

、第2の半導体膜106に含まれる酸素濃度は、第1の半導体膜に含まれる酸素濃度より高い濃度、例えば $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上とすることが望ましい。

【0088】

次いで、加熱処理を行い、第1の半導体膜中における金属元素(ニッケル)の濃度を低減、あるいは除去するゲッタリングを行う。(図1(F))ゲッタリングを行う加熱処理としては、強光を照射する処理または熱処理を行えばよい。このゲッタリングにより、図1(F)中の矢印の方向(即ち、基板側から第2の半導体膜表面に向かう方向)に金属元素が移動し、バリア層105bで覆われた第1の半導体膜104aに含まれる金属元素の除去、または金属元素の濃度の低減が行われる。金属元素がゲッタリングの際に移動する距離は、少なくとも第1の半導体膜の厚さ程度の距離であればよく、比較的短時間でゲッタリングを完遂することができる。ここでは、ニッケルが第1の半導体膜104aに偏析しないよう全て第2の半導体膜106に移動させ、第1の半導体膜104aに含まれるニッケルがほとんど存在しない、即ち膜中のニッケル濃度が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下、望ましくは $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下になるように十分ゲッタリングする。10

【0089】

また、このゲッタリングの加熱処理の条件によっては、ゲッタリングと同時に第1の半導体膜の結晶化率を高め、結晶粒内に残される欠陥を補修する、即ち結晶性の改善を行うことができる。

【0090】

本明細書において、ゲッタリングとは、被ゲッタリング領域(ここでは第1の半導体膜)にある金属元素が熱エネルギーにより放出され、拡散によりゲッタリングサイトに移動することを指している。従って、ゲッタリングは処理温度に依存し、より高温であるほど短時間でゲッタリングが進むことになる。20

【0091】

また、このゲッタリングの加熱処理として強光を照射する処理を用いる場合は、加熱用のランプ光源を1~60秒、好ましくは30~60秒点灯させ、それを1~10回、好ましくは2~6回繰り返す。ランプ光源の発光強度は任意なものとするが、瞬間的には600~1000、好ましくは700~750程度に半導体膜が加熱されるようする。

【0092】

また、熱処理で行う場合は、窒素雰囲気中で450~800、1~24時間、例えば550にて14時間の熱処理を行えばよい。また、熱処理に加えて強光を照射してもよい。30

【0093】

次いで、バリア層105bをエッティングストッパーとして、106で示した第2の半導体膜のみを選択的に除去した後、酸化膜からなるバリア層105bを除去する。第2の半導体膜のみを選択的にエッティングする方法としては、C1F₃によるプラズマを用いないドライエッティング、或いはヒドラジンや、テトラエチルアンモニウムハイドロオキサイド(化学式(CH₃)₄N OH)を含む水溶液などアルカリ溶液によるウエットエッティングを行うことができる。また、第2の半導体膜を除去した後、バリア層の表面をTRFでニッケル濃度を測定したところ、ニッケルが高濃度で検出されるため、バリア層は除去することが望ましく、フッ酸を含むエッチャントにより除去すれば良い。40

【0094】

次いで、結晶構造を有する第1の半導体膜に対してレーザー光(第2のレーザー光)を窒素雰囲気または真空で照射する。レーザー光(第2のレーザー光)を照射した場合、第1のレーザー光の照射により形成された凹凸の高低差(P-V値:Peak to Valley、高さの最大値と最小値の差分)が低減、即ち、平坦化される。(図1(G))ここで、凹凸のP-V値は、AFM(原子間力顕微鏡)により観察すればよい。AFMは、表面粗さを示す他の指標として、中心線平均粗さ(Ra)や2乗平均平方根粗さ(Rms)や十点平均面粗さ(Rz)や平均傾斜角(a)も測定することが可能である。具体的には、第1のレーザー光の照射により形成された凹凸のP-V値が80nm~100nm程度であった表50

面は、第2のレーザー光の照射により表面における凸凹のP-V値を40nm以下、好ましくは30nm以下とすることができます。また、表面におけるRaが10nm前後であった表面は、第2のレーザー光の照射により表面におけるRaを2nm以下とすることができます。また、表面におけるRmsが10nm前後であった表面は、第2のレーザー光の照射により表面におけるRmsを2nm以下とすることができます。また、表面におけるRzが70nm前後であった表面は、第2のレーザー光の照射により表面におけるRzを20nm以下とすることができます。また、表面におけるaが2°前後であった表面は、第2のレーザー光の照射により表面におけるaを1°以下とすることができます。

【0095】

なお、上記数値(P-V値、Ra、Rms、Rz、a)は、 $4\mu\text{m} \times 4\mu\text{m}$ 、もしくは¹⁰ $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ の面積を有するエリア範囲で測定した場合の値である。

【0096】

このレーザー光(第2のレーザー光)には波長400nm以下のエキシマレーザー光や、YAGレーザーの第2高調波、第3高調波を用いる。また、エキシマレーザー光に代えて紫外光ランプから発する光を用いてもよい。

【0097】

本発明者らは、以下に示す実験を行った。

【0098】

(実験)

まず、ガラス基板上に下地絶縁膜(酸化窒化シリコン膜、膜厚150nm)を形成し、その上にプラズマCVD法により膜厚54nmの非晶質シリコン膜を形成した試料を用意した。次いで、ニッケルを重量換算で10ppm含む溶液を塗布した後、500、1時間の熱処理を行った後、さらに550、4時間の熱処理を行って結晶化させて結晶構造を有するシリコン膜を形成した。次いで、希フッ酸で半導体膜の表面を洗浄した後、大気または酸素雰囲気で第1のレーザー光(エキシマレーザ)を照射する。ここで第1のレーザー光におけるエネルギー密度は 476mJ/cm^2 とした。次いで、第1のレーザー光照射の際に形成された酸化膜を希フッ酸で除去した後、第2のレーザー光のエネルギー密度(476 、 507 、 537 、 567mJ/cm^2)の条件を振って窒素雰囲気でそれぞれ照射してP-V値を測定して比較を行った。²⁰

【0099】

図13に実験結果を示す。

【0100】

図13より、第2のレーザー光のエネルギー密度は、第1のレーザー光のエネルギー密度より大きくなり、好ましくは $30\sim60\text{mJ/cm}^2$ 大きくする。ただし、第2のレーザー光のエネルギー密度が第1のレーザー光のエネルギー密度よりも 90mJ/cm^2 以上大きいエネルギー密度だと、表面の粗さが増大し、さらに結晶性の低下、或いは微結晶化してしまい、特性が悪化する傾向が見られた。

【0101】

なお、第2のレーザー光の照射は、第1のレーザー光のエネルギー密度よりも高いが、照射前後で結晶性はほとんど変化しない。また、粒径などの結晶状態もほとんど変化しない。即ち、この第2のレーザー光の照射では平坦化のみが行われていると思われる。⁴⁰

【0102】

結晶構造を有する半導体膜が第2のレーザー光の照射により平坦化されたメリットは非常に大きい。具体的には、平坦性が向上したことによって、後に形成されるゲート絶縁膜を薄くすることが可能となり、TFTのオン電流値を向上させることができる。また、平坦性が向上したことによって、TFTを作製した場合、オフ電流を低減することができる。

【0103】

また、第2のレーザー光を照射することによって、ゲッタリングサイトを形成する際に第1の半導体膜にも添加されてしまった場合、結晶構造を有する半導体膜中の希ガス元素を除去または低減する効果も得られる。⁵⁰

【 0 1 0 4 】

次いで、平坦化された第1の半導体膜104bを公知のパターニング技術を用いて所望の形状の半導体層107を形成する。（図2（A））また、レジストからなるマスクを形成する前に、オゾン水で表面に薄い酸化膜を形成することが望ましい。

【 0 1 0 5 】

次いで、半導体層の表面をフッ酸を含むエッチャントで洗浄した後、ゲート絶縁膜108となる珪素を主成分とする絶縁膜を形成する。この表面洗浄とゲート絶縁膜の形成は、大気にふれさせずに連続的に行うことが望ましい。

【 0 1 0 6 】

次いで、ゲート絶縁膜108の表面を洗浄した後、ゲート電極109を形成する。次いで、半導体にn型を付与する不純物元素（P、As等）、ここではリンを適宜添加して、ソース領域110及びドレイン領域111を形成する。添加した後、不純物元素を活性化するために加熱処理、強光の照射、またはレーザー光の照射を行う。また、活性化と同時にゲート絶縁膜へのプラズマダメージやゲート絶縁膜と半導体層との界面へのプラズマダメージを回復することができる。特に、室温～300の雰囲気中において、表面または裏面からYAGレーザーの第2高調波を照射して不純物元素を活性化させることは非常に有効である。YAGレーザーはメンテナンスが少ないため好ましい活性化手段である。10

【 0 1 0 7 】

以降の工程は、層間絶縁膜113を形成し、水素化を行って、ソース領域、ドレイン領域に達するコンタクトホールを形成し、ソース電極114、ドレイン電極115を形成してTFT（nチャネル型TFT）を完成させる。（図2（B））20

【 0 1 0 8 】

こうして得られたTFTのチャネル形成領域112に含まれる金属元素の濃度は $1 \times 10^{17} / cm^3$ 未満とすることができます。また、こうして得られたTFTの半導体表面における平坦性は、上記本工程により飛躍的に向上されたため、オフ電流値が低減し、オフ電流値のバラツキも低減する。

【 0 1 0 9 】

また、本発明は図2（B）のTFT構造に限定されず、必要があればチャネル形成領域とドレイン領域（またはソース領域）との間にLDD領域を有する低濃度ドレイン（LDD：Lightly Doped Drain）構造としてもよい。この構造はチャネル形成領域と、高濃度に不純物元素を添加して形成するソース領域またはドレイン領域との間に低濃度に不純物元素を添加した領域を設けたものであり、この領域をLDD領域と呼んでいる。さらにゲート絶縁膜を介してLDD領域をゲート電極と重ねて配置させた、いわゆるGOLD（Gate-drain Overlapped LDD）構造としてもよい。30

【 0 1 1 0 】

また、ここではnチャネル型TFTを用いて説明したが、n型不純物元素に代えてp型不純物元素を用いることによってpチャネル型TFTを形成することができることは言うまでもない。

【 0 1 1 1 】

また、ここではトップゲート型TFTを例として説明したが、TFT構造に関係なく本発明を適用することができるのであり、例えばボトムゲート型（逆スタガ型）TFTや順スタガ型TFTに適用することができる。40

【 0 1 1 2 】

また、ここでは希ガスを含む半導体膜を利用したゲッタリングを例として説明したが、本発明により金属元素が偏析しやすいリッジを低減することができるため、ゲッタリング方法に関係なく本発明は効果的であり、例えばリンを選択的に添加してゲッタリングサイトを形成し、加熱処理を行うことによってゲッタリングを行う方法等に適用することができる、同様にゲッタリング効果が向上することは言うまでもない。

【 0 1 1 3 】

また、パターニング前に第2のレーザー光の照射を行わず、パターニングにより所望の形50

状の半導体層を形成した後に酸化膜を除去した後、不活性気体雰囲気または真空中で第2のレーザー光の照射を行って平坦化してもよい。

【0114】

また、第2のレーザー光のショット数を第1のレーザー光のショット数よりも少なくすることで、処理時間を短縮するとともに、S値やVthのバラツキを低減させることができる。

【0115】

(実施の形態2)

ここでは、実施の形態1とは異なる工程順序で第2のレーザー光の照射を行う例を図3に示す。

10

【0116】

まず、実施の形態1に従って、第1のレーザー光の照射を行う工程まで行う。なお、図3(A)は図1(A)に対応し、図3(B)は図1(B)に対応し、図3(C)は図1(C)に対応し、図3(D)は図1(D)に対応している。

【0117】

また、図3中、200は基板、201はプロッキング層となる絶縁膜、202は非晶質構造を有する半導体膜、203はニッケル含有層、204aは結晶構造を有する半導体膜、205aは酸化膜である。

【0118】

次いで、第1のレーザー光の照射により形成された酸化膜205aを除去する。(図3(E))

20

【0119】

次いで、結晶構造を有する第1の半導体膜に対してレーザー光(第2のレーザー光)を窒素雰囲気または真空中で照射する。レーザー光(第2のレーザー光)を照射した場合、第1のレーザー光の照射により形成された凹凸のPV値が低減、即ち、平坦化される。(図3(F))具体的には、第1のレーザー光の照射により形成された凹凸のPV値が80nm~100nmであった表面は、第2のレーザー光の照射により表面における凸凹のPV値を40nm以下、好ましくは30nm以下とすることができます。このレーザー光(第2のレーザー光)には波長400nm以下のエキシマレーザー光や、YAGレーザーの第2高調波、第3高調波を用いる。また、エキシマレーザー光に代えて紫外光ランプから発する光を用いてもよい。なお、第2のレーザー光のエネルギー密度は、第1のレーザー光のエネルギー密度より大きくし、好ましくは30~60mJ/cm²大きくする。ただし、第2のレーザー光のエネルギー密度が第1のレーザー光のエネルギー密度よりも90mJ/cm²以上大きいエネルギー密度だと、結晶性の低下、或いは微結晶化してしまい、特性が悪化する。

30

【0120】

なお、第2のレーザー光の照射は、第1のレーザー光のエネルギー密度よりも高いが、照射前後で結晶性はほとんど変化しない。また、粒径などの結晶状態もほとんど変化しない。即ち、この第2のレーザー光の照射では平坦化のみが行われていると思われる。

【0121】

40

結晶構造を有する半導体膜が第2のレーザー光の照射により平坦化されたメリットは非常に大きい。例えば、後に行われるゲッタリングの際、リッジにニッケルが偏析しやすい。従って、ゲッタリングを行う前に第2のレーザー光の照射により予め表面を平坦化した後、ゲッタリングを行うとゲッタリングの効果が増大する。或いは、第2のレーザー光の照射により半導体膜中の金属元素、代表的には結晶化を助長するニッケル元素が分散されてゲッタリングの効果が増大する。

【0122】

また、基板内でゲッタリングが十分にされず、ゲッタリングにバラツキが生じると、各々の TFT 特性に若干の差、即ちバラツキが生じていた。透過型の液晶表示装置の場合、画素部に配置される TFT に電気特性のバラツキがあれば、各画素電極に印加する電圧のバ

50

ラツキが生じ、そのため透過光量のバラツキも生じ、これが表示むらとなって観察者の目に映ることになる。本発明はこれらの問題を解決することができる。

【0123】

また、平坦性が向上したことによって、後に形成されるゲート絶縁膜を薄くすることが可能となり、TFTのオン電流値を向上させることができる。また、平坦性が向上したことによって、TFTを作製した場合、オフ電流を低減することができる。即ち、本発明によりTFTのオンオフ比が大きくなる。

【0124】

次いで、オゾン含有水溶液（代表的にはオゾン水）で酸化膜（ケミカルオキサイドと呼ばれる）を形成して1～10nmの酸化膜からなるバリア層205bを形成し、このバリア層205b上に希ガス元素を含む第2の半導体膜206を形成する。（図3（G））

10

【0125】

また、他のバリア層205bの形成方法としては、酸素雰囲気下の紫外線の照射でオゾンを発生させて前記結晶構造を有する半導体膜の表面を酸化して形成してもよい。また、他のバリア層205bの形成方法としては、プラズマCVD法やスパッタ法や蒸着法などで1～10nm程度の酸化膜を堆積してバリア層としても良い。また、他のバリア層205bの形成方法としては、クリーンオーブンを用い、200～350程度に加熱して薄い酸化膜を形成しても良い。なお、バリア層205bは上記方法のいずれか一の方法、またはそれらの方法を組み合わせて形成されたものであれば特に限定されないが、後のゲッタリングで第1の半導体膜中のニッケルが第2の半導体膜に移動可能な膜質または膜厚とする必要がある。

20

【0126】

ここでは、希ガス元素を含む第2の半導体膜206をスパッタ法にて形成し、ゲッタリングサイトを形成する。希ガス元素としてはヘリウム（He）、ネオン（Ne）、アルゴン（Ar）、クリプトン（Kr）、キセノン（Xe）から選ばれた一種または複数種を用いる。中でも安価なガスであるアルゴン（Ar）が好ましい。ここでは希ガス元素を含む雰囲気でシリコンからなるターゲットを用い、第2の半導体膜を形成する。膜中に不活性気体である希ガス元素イオンを含有させる意味は二つある。一つはダンギングボンドを形成し半導体膜に歪みを与えることであり、他の一つは半導体膜の格子間に歪みを与えることである。半導体膜の格子間に歪みを与えるにはアルゴン（Ar）、クリプトン（Kr）、キセノン（Xe）などシリコンより原子半径の大きな元素を用いた時に顕著に得られる。また、膜中に希ガス元素を含有させることにより、格子歪だけでなく、不対結合手も形成させてゲッタリング作用に寄与する。

30

【0127】

次いで、加熱処理を行い、第1の半導体膜中における金属元素（ニッケル）の濃度を低減、あるいは除去するゲッタリングを行う。（図3（H））ゲッタリングを行う加熱処理としては、強光を照射する処理または熱処理を行えばよい。このゲッタリングにより、図3（H）中の矢印の方向（即ち、基板側から第2の半導体膜表面に向かう方向）に金属元素が移動し、バリア層205bで覆われた第1の半導体膜204bに含まれる金属元素の除去、または金属元素の濃度の低減が行われる。金属元素がゲッタリングの際に移動する距離は、少なくとも第1の半導体膜の厚さ程度の距離であればよく、比較的短時間でゲッタリングを完遂することができる。ここでは、ニッケルが第1の半導体膜204bに偏析しないよう全て第2の半導体膜206に移動させ、第1の半導体膜204bに含まれるニッケルがほとんど存在しない、即ち膜中のニッケル濃度が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下、望ましくは $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下になるように十分ゲッタリングする。

40

【0128】

また、上記ゲッタリングの際、レーザー光の照射（第1のレーザー光及び第2のレーザー光）によるダメージを修復することが同時に行われる。

【0129】

次いで、バリア層205bをエッティングストッパーとして、206で示した第2の半導体

50

膜のみを選択的に除去した後、バリア層 205b を除去し、第1の半導体膜 204b を公知のパターニング技術を用いて所望の形状の半導体層を形成する。

【0130】

以降の工程は、実施の形態1と同一の工程により TFT を完成させる。

【0131】

また、本実施の形態は実施の形態1と組み合わせることが可能である。また、他の公知のゲッタリング技術と組み合わせることが可能である。

【0132】

また、ゲッタリング前に第2のレーザー光の照射を行わず、所望の形状の半導体層を形成した後に酸化膜を除去した後、不活性気体雰囲気または真空中で第2のレーザー光の照射を行って平坦化してもよい。10

【0133】

また、第2のレーザー光のショット数を第1のレーザー光のショット数よりも少なくすることで、処理時間を短縮するとともに、S値やV_{t h}のバラツキを低減させることができる。

【0134】

以上の構成でなる本発明について、以下に示す実施例でもってさらに詳細な説明を行うこととする。

【0135】

(実施例)

20

[実施例1]

本発明の実施例を図4～図6を用いて説明する。ここでは、同一基板上に画素部と、画素部の周辺に設ける駆動回路の TFT (nチャネル型 TFT 及び pチャネル型 TFT) を同時に作製する方法について詳細に説明する。

【0136】

まず、上記実施の形態で示した方法でガラス基板300上に下地絶縁膜301を形成し、結晶構造を有する第1の半導体膜を得た後、所望の形状にエッチング処理して島状に分離された半導体層302～306を形成する。

【0137】

なお、半導体層302～306を形成するまでの詳細な説明は、上記実施の形態1に示してあるので簡略して以下に説明する。

30

【0138】

本実施例では、ガラス基板上に設ける下地絶縁膜301として2層構造を用いるが、前記絶縁膜の単層膜または2層以上積層させた構造を用いても良い。下地絶縁膜301の一層目としては、プラズマCVD法を用い、SiH₄、NH₃、及びN₂Oを反応ガスとして成膜される第1酸化窒化シリコン膜(組成比Si=32%、O=27%、N=24%、H=17%)を膜厚50nmで形成する。次いで、下地絶縁膜301の二層目としては、プラズマCVD法を用い、SiH₄及びN₂Oを反応ガスとして成膜される第2酸化窒化シリコン膜(組成比Si=32%、O=59%、N=7%、H=2%)を膜厚100nmで形成する。40

【0139】

次いで、下地絶縁膜301上にプラズマCVD法を用いた非晶質シリコン膜を50nmの膜厚で形成する。次いで、重量換算で10ppmのニッケルを含む酢酸ニッケル塩溶液をスピナーで塗布する。塗布に代えてスパッタ法でニッケル元素を全面に散布する方法を用いてもよい。

【0140】

次いで、加熱処理を行い結晶化させて結晶構造を有する半導体膜を形成する。この加熱処理は、電気炉の熱処理または強光の照射を用いればよい。電気炉の熱処理で行う場合は、500～650で4～24時間で行えばよい。ここでは脱水素化のための熱処理(500、1時間)の後、結晶化のための熱処理(550、4時間)を行って結晶構造を50

有するシリコン膜を得る。なお、ここでは炉を用いた熱処理を用いて結晶化を行ったが、ランプアニール装置で結晶化を行ってもよい。

【0141】

次いで、結晶化率を高め、結晶粒内に残される欠陥を補修するための第1のレーザー光(XeCl:波長308nm)の照射を大気中、または酸素雰囲気中で行う。レーザー光には波長400nm以下のエキシマレーザ光や、YAGレーザの第2高調波、第3高調波を用いる。いずれにしても、繰り返し周波数10~1000Hz程度のパルスレーザー光を用い、当該レーザー光を光学系にて100~500mJ/cm²に集光し、90~95%のオーバーラップ率をもって照射し、シリコン膜表面を走査させればよい。ここでは、繰り返し周波数30Hz、エネルギー密度476mJ/cm²で第1のレーザー光の照射を大気中で行なう。
なお、ここでの第1のレーザー光の照射は、膜中の希ガス元素(ここではアルゴン)を除去または低減する上で非常に重要である。次いで、第1のレーザー光の照射により形成された酸化膜に加え、オゾン水で表面を120秒処理して合計1~5nmの酸化膜からなるバリア層を形成する。

10

【0142】

次いで、バリア層上にスパッタ法にてゲッタリングサイトとなるアルゴン元素を含む非晶質シリコン膜を膜厚150nmで形成する。本実施例のスパッタ法による成膜条件は、成膜圧力を0.3Paとし、ガス(Ar)流量を50(sccm)とし、成膜パワーを3kWとし、基板温度を150とする。なお、上記条件での非晶質シリコン膜に含まれるアルゴン元素の原子濃度は、 $3 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ~ $6 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 、酸素の原子濃度は $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ~ $3 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ である。その後、ランプアニール装置を用いて650、3分の熱処理を行いゲッタリングする。

20

【0143】

次いで、バリア層をエッチングストッパーとして、ゲッタリングサイトであるアルゴン元素を含む非晶質シリコン膜を選択的に除去した後、バリア層を希フッ酸で選択的に除去する。なお、ゲッタリングの際、ニッケルは酸素濃度の高い領域に移動しやすい傾向があるため、酸化膜からなるバリア層をゲッタリング後に除去することが望ましい。

【0144】

次いで、第2のレーザー光の照射を窒素雰囲気、或いは真空中で行い、半導体膜表面を平坦化する。このレーザー光(第2のレーザー光)には波長400nm以下のエキシマレーザー光や、YAGレーザーの第2高調波、第3高調波を用いる。また、エキシマレーザー光に代えて紫外光ランプから発する光を用いてもよい。なお、第2のレーザー光のエネルギー密度は、第1のレーザー光のエネルギー密度より大きくし、好ましくは30~60mJ/cm²大きくする。ここでは、繰り返し周波数30Hz、エネルギー密度537mJ/cm²で第2のレーザー光の照射を行ない、半導体膜表面における凹凸のP-V値が21nm以下となる。

30

【0145】

また、本実施例では第2のレーザー光の照射を全面に行なったが、オフ電流の低減は、画素部のTFTに特に効果があるため、少なくとも画素部のみに選択的に照射する工程としてもよい。

40

【0146】

また、第2のレーザー光のショット数を第1のレーザー光のショット数よりも少なくして処理時間を短縮するとともに、S値やVthのバラツキを低減させてもよい。

【0147】

次いで、得られた結晶構造を有するシリコン膜(ポリシリコン膜とも呼ばれる)の表面にオゾン水で薄い酸化膜を形成した後、レジストからなるマスクを形成し、所望の形状にエッチング処理して島状に分離された半導体層を形成する。半導体層を形成した後、レジストからなるマスクを除去する。

【0148】

また、半導体層を形成した後、TFTのしきい値(Vth)を制御するためにp型あるいはn型である。

50

はn型を付与する不純物元素を添加してもよい。なお、半導体に対してp型を付与する不純物元素には、ボロン(B)、アルミニウム(Al)、ガリウム(Ga)など周期律第13族元素が知られている。なお、半導体に対してn型を付与する不純物元素としては周期律15族に属する元素、典型的にはリン(P)または砒素(As)が知られている。

【0149】

次いで、フッ酸を含むエッチャントで酸化膜を除去すると同時にシリコン膜の表面を洗浄した後、ゲート絶縁膜307となる珪素を主成分とする絶縁膜を形成する。本実施例では、プラズマCVD法により115nmの厚さで酸化窒化シリコン膜(組成比Si = 32%、O = 59%、N = 7%、H = 2%)で形成する。

【0150】

次いで、図4(A)に示すように、ゲート絶縁膜307上に膜厚20~100nmの第1の導電膜308aと、膜厚100~400nmの第2の導電膜308bと、膜厚20~100nmの第3の導電膜308cを積層形成する。本実施例では、ゲート絶縁膜307上に膜厚50nmのタンゲステン膜、膜厚500nmのアルミニウムとチタンの合金(Al-Ti)膜、膜厚30nmのチタン膜を順次積層した。

10

【0151】

第1~第3の導電膜を形成する導電性材料としてはTa、W、Ti、Mo、Al、Cuから選ばれた元素、または前記元素を主成分とする合金材料もしくは化合物材料で形成する。また、第1~第3の導電膜としてリン等の不純物元素をドーピングした多結晶シリコン膜に代表される半導体膜を用いてもよい。例えば、第1の導電膜のタンゲステンに代えて窒化タンゲステンを用いてもよいし、第2の導電膜のアルミニウムとチタンの合金(Al-Ti)膜に代えてアルミニウムとシリコンの合金(Al-Si)膜を用いてもよいし、第3の導電膜のチタン膜に代えて窒化チタン膜を用いてもよい。また、3層構造に限定されず、例えば、窒化タンタル膜とタンゲステン膜との2層構造であってもよい。

20

【0152】

次に、図4(B)に示すように光露光工程によりレジストからなるマスク310~315を形成し、ゲート電極及び配線を形成するための第1のエッチング処理を行う。第1のエッチング処理では第1及び第2のエッチング条件で行う。エッチングにはICP(Inductively Coupled Plasma: 誘導結合型プラズマ)エッチング法を用いると良い。ICPエッチング法を用い、エッチング条件(コイル型の電極に印加される電力量、基板側の電極に印加される電力量、基板側の電極温度等)を適宜調節することによって所望のテーパー形状に膜をエッチングすることができる。なお、エッチング用ガスとしては、Cl₂、BCl₃、SiCl₄、CCl₄などを代表とする塩素系ガスまたはCF₄、SF₆、NF₃などを代表とするフッ素系ガス、またはO₂を適宜用いることができる。

30

【0153】

用いるエッチング用ガスに限定はないが、ここではBCl₃とCl₂とO₂とを用いることが適している。それぞれのガス流量比を65/10/5(ccm)とし、1.2Paの圧力でコイル型の電極に450WのRF(13.56MHz)電力を投入してプラズマを生成して117秒のエッチングを行う。基板側(試料ステージ)にも300WのRF(13.56MHz)電力を投入し、実質的に負の自己バイアス電圧を印加する。この第1のエッチング条件によりAl膜及びTi膜をエッチングして第1の導電層の端部をテーパー形状とする。

40

【0154】

この後、第2のエッチング条件に変え、エッチング用ガスにCF₄とCl₂とO₂とを用い、それぞれのガス流量比を25/25/10(ccm)とし、1Paの圧力でコイル型の電極に500WのRF(13.56MHz)電力を投入してプラズマを生成して約30秒程度のエッチングを行う。基板側(試料ステージ)にも20WのRF(13.56MHz)電力を投入し、実質的に負の自己バイアス電圧を印加する。CF₄とCl₂を混合した第2のエッチング条件ではAl膜、Ti膜、及びW膜とも同程度にエッチングされる。なお、ゲート絶縁膜上に残渣を残すことなくエッチングするためには、10~20%程度の

50

割合でエッティング時間を増加させると良い。

【0155】

この第1のエッティング処理では、レジストからなるマスクの形状を適したものとすることにより、基板側に印加するバイアス電圧の効果により第1の導電層、第2の導電層、及び第3の導電層の端部がテーパー形状となる。このテーパー部の角度は15～45°となる。こうして、第1のエッティング処理により第1の導電層と第2の導電層と第3の導電層とから成る第1の形状の導電層317～322（第1の導電層317a～322aと第2の導電層317b～322bと第3の導電層317c～322c）を形成する。316はゲート絶縁膜であり、第1の形状の導電層317～322で覆われない領域は20～50nm程度エッティングされ薄くなった領域が形成される。

10

【0156】

次に、レジストからなるマスク310～315を除去せずに図4（C）に示すように第2のエッティング処理を行う。エッティング用ガスにBCl₃とCl₂を用い、それぞれのガス流量比を20/60（sccm）とし、1.2Paの圧力でコイル型の電極に600WのRF（13.56MHz）電力を投入してプラズマを生成してエッティングを行う。基板側（試料ステージ）には100WのRF（13.56MHz）電力を投入する。この第3のエッティング条件により第2導電層及び第3導電層をエッティングする。こうして、上記第3のエッティング条件によりチタンを微量に含むアルミニウム膜及びチタン膜を異方性エッティングして第2の形状の導電層324～329（第1の導電層324a～329aと第2の導電層324b～329bと第3の導電層324c～329c）を形成する。323はゲート絶縁膜であり、第2の形状の導電層324～329で覆われない領域は若干エッティングされ薄くなった領域が形成される。また、図4（B）および図4（C）では、第1の導電層のテーパー部の長さは同一として図示しているが、実際は、配線幅の依存性があるため、配線幅によって第1の導電層のテーパー部の長さが変化する。

20

【0157】

そして、レジストからなるマスクを除去せずに第1のドーピング処理を行い、半導体層にn型を付与する不純物元素を添加する。ドーピング処理はイオンドープ法、もしくはイオン注入法で行えば良い。イオンドープ法の条件はドーズ量を 1.5×10^{14} atoms/cm²とし、加速電圧を60～100keVとして行う。n型を付与する不純物元素として、典型的にはリン（P）または砒素（As）を用いる。この場合、第2形状の導電層324～328がn型を付与する不純物元素に対するマスクとなり、自己整合的に第1の不純物領域330～334が形成される。第1の不純物領域330～334には $1 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{17}/cm^3$ の濃度範囲でn型を付与する不純物元素を添加する。

30

【0158】

なお、本実施例ではレジストからなるマスクを除去せずに第1のドーピング処理を行ったが、レジストからなるマスクを除去した後、第1のドーピング処理を行ってもよい。

【0159】

次いで、レジストからなるマスクを除去した後、図5（A）に示すようにレジストからなるマスク335、336を形成し第2のドーピング処理を行う。マスク335は駆動回路のpチャネル型TFTの一つを形成する半導体層のチャネル形成領域及びその周辺の領域を保護するマスクであり、マスク336は画素部のTFTを形成する半導体層のチャネル形成領域及びその周辺の領域を保護するマスクである。また、図5（A）では、便宜上、第1の導電層のテーパー部の長さは同一として図示しているが、実際は、配線幅によって第1の導電層のテーパー部の長さが変化している。従って、同一基板上に配線幅の異なる配線が複数設けられている場合、ドーピングされる領域の幅もそれ異なる。

40

【0160】

第2のドーピング処理におけるイオンドープ法の条件はドーズ量を 1.5×10^{15} atoms/cm²とし、加速電圧を60～100keVとしてリン（P）をドーピングする。ここでは、第2形状の導電層324～328及びゲート絶縁膜323の膜厚の差を利用して各半導体層に不純物領域を行う。勿論、マスク335、336で覆われた領域にはリン（P）は

50

添加されない。こうして、第2の不純物領域380～382と第3の不純物領域337～341が形成される。第3の不純物領域337～341には $1 \times 10^{20} \sim 1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ の濃度範囲でn型を付与する不純物元素を添加されている。また、第2の不純物領域はゲート絶縁膜の膜厚差により第3の不純物領域よりも低濃度に形成され、 $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ の濃度範囲でn型を付与する不純物元素を添加されることになる。

【0161】

次いで、レジストからなるマスク335、336を除去した後、新たにレジストからなるマスク342～344を形成して図5(B)に示すように第3のドーピング処理を行う。この第3のドーピング処理により、pチャネル型TFTを形成する半導体層にp型の導電型を付与する不純物元素が添加された第4の不純物領域347及び第5の不純物領域345、346を形成する。¹⁰ 第4の不純物領域は第2形状の導電層と重なる領域に形成されるものであり、 $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ の濃度範囲でp型を付与する不純物元素が添加されるようとする。また、第5の不純物領域345、346には $1 \times 10^{20} \sim 1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ の濃度範囲でp型を付与する不純物元素が添加されるようとする。尚、第5の不純物領域346には先の工程でリン(P)が添加された領域であるが、p型を付与する不純物元素の濃度がその1.5～3倍添加されていて導電型はp型となっている。

【0162】

なお、第5の不純物領域348、349及び第4の不純物領域350は画素部において保持容量を形成する半導体層に形成される。

【0163】

以上までの工程でそれぞれの半導体層にn型またはp型の導電型を有する不純物領域が形成される。第2の形状の導電層324～327はゲート電極となる。また、第2の形状の導電層328は画素部において保持容量を形成する一方の電極となる。さらに、第2の形状の導電層329は画素部においてソース配線を形成する。

【0164】

また、導電層324～327及び不純物領域(第1の不純物領域～第5の不純物領域)が形成できるのであれば特に上記工程順序に限定されず、各エッチング順序、各ドーピング順序を適宜変更してもよい。

【0165】

次いで、ほぼ全面を覆う絶縁膜(図示しない)を形成する。本実施例では、プラズマCVD法により膜厚50nmの酸化シリコン膜を形成した。勿論、この絶縁膜は酸化シリコン膜に限定されるものでなく、他のシリコンを含む絶縁膜を単層または積層構造として用いても良い。

【0166】

次いで、それぞれの半導体層に添加された不純物元素を活性化処理する工程を行う。この活性化工程は、ランプ光源を用いたラピッドサーマルアニール法(RTA法)、或いはYAGレーザーまたはエキシマレーザーを裏面から照射する方法、或いは炉を用いた熱処理、或いはこれらの方のうち、いずれかと組み合わせた方法によって行う。ただし、本実施例では、第2の導電層としてアルミニウムを主成分とする材料を用いているので、活性化工程において第2の導電層が耐え得る熱処理条件とすることが重要である。⁴⁰

【0167】

上記活性化処理と同時に、結晶化の際に触媒として使用したニッケルが高濃度のリンを含む第3の不純物領域337、339、340、及び第5の不純物領域346、349ゲッタリングされ、主にチャネル形成領域となる半導体層中のニッケル濃度が低減される。その結果、チャネル形成領域を有するTFTはオフ電流値が下がり、結晶性が良いことから高い電界効果移動度が得られ、良好な特性を達成することができる。なお、本実施例では半導体層を形成する段階で上記実施の形態1に示した方法により1度目のゲッタリングを行われているので、ここでのリンによるゲッタリングは2度目のゲッタリングとなる。また、1度目のゲッタリングで十分ゲッタリングができている場合には、特に2度目のゲッタリングを行う必要はない。

10

20

30

40

50

【 0 1 6 8 】

また、本実施例では、上記活性化の前に絶縁膜を形成した例を示したが、上記活性化を行った後、絶縁膜を形成する工程としてもよい。

【 0 1 6 9 】

次いで、窒化シリコン膜からなる第1の層間絶縁膜351を形成して熱処理(300~550で1~12時間の熱処理)を行い、半導体層を水素化する工程を行う。(図5(C))この工程は第1の層間絶縁膜351に含まれる水素により半導体層のダンギリングボンドを終端する工程である。酸化シリコン膜からなる絶縁膜(図示しない)の存在に関係なく半導体層を水素化することができる。ただし、本実施例では、第2の導電層としてアルミニウムを主成分とする材料を用いているので、水素化する工程において第2の導電層が耐え得る熱処理条件とすることが重要である。水素化の他の手段として、プラズマ水素化(プラズマにより励起された水素を用いる)を行っても良い。10

【 0 1 7 0 】

次いで、第1の層間絶縁膜351上に有機絶縁物材料から成る第2の層間絶縁膜352を形成する。本実施例では膜厚1.6μmのアクリル樹脂膜を形成する。次いで、ソース配線327に達するコンタクトホールと各不純物領域に達するコンタクトホールを形成する。本実施例では複数のエッチング処理を順次行う。本実施例では第1の層間絶縁膜をエッチングストッパーとして第2の層間絶縁膜をエッチングした後、絶縁膜(図示しない)をエッチングストッパーとして第1の層間絶縁膜をエッチングしてから絶縁膜(図示しない)をエッチングした。20

【 0 1 7 1 】

その後、Al、Ti、Mo、Wなどを用いて配線及び画素電極を形成する。これらの電極及び画素電極の材料は、AlまたはAgを主成分とする膜、またはそれらの積層膜等の反射性の優れた材料を用いることが望ましい。こうして、ソースまたはドレイン配線353~358、ゲート配線360、接続配線359、画素電極361が形成される。

【 0 1 7 2 】

以上の様にして、nチャネル型TFT401、pチャネル型TFT402、nチャネル型TFT403を有する駆動回路406と、nチャネル型TFT404、保持容量405とを有する画素部407を同一基板上に形成することができる。(図6)本明細書中ではこのような基板を便宜上アクティブマトリクス基板と呼ぶ。本明細書中ではこのような基板を便宜上アクティブマトリクス基板と呼ぶ。30

【 0 1 7 3 】

また、この段階におけるゲート電極近傍の断面TEM観察写真図を図22に示す。図22に示したように第2のレーザー光によって半導体膜表面(LDD領域表面を含む)は平坦となっている。LDD領域が平坦となったことでその上のゲート絶縁膜、ゲート電極のテーパー部にもLDD領域表面における凸凹の影響はほとんど見られない。また、図23に比較例として平坦化処理を行っていないTFTのゲート電極近傍の断面TEM観察写真図を示す。

【 0 1 7 4 】

駆動回路406のnチャネル型TFT401(第1のnチャネル型TFT)はチャネル形成領域362、ゲート電極を形成する第2の形状の導電層324と一部が重なる第2の不純物領域363とソース領域またはドレイン領域として機能する第3の不純物領域364を有している。pチャネル型TFT402にはチャネル形成領域365、ゲート電極を形成する第2の形状の導電層325と一部が重なる第4不純物領域366とソース領域またはドレイン領域として機能する第5の不純物領域367を有している。nチャネル型TFT403(第2のnチャネル型TFT)にはチャネル形成領域368、ゲート電極を形成する第2の形状の導電層326と一部が重なる第2の不純物領域369とソース領域またはドレイン領域として機能する第3の不純物領域370を有している。このようなnチャネル型TFT及びpチャネル型TFTによりシフトレジスタ回路、バッファ回路、レベルシフタ回路、ラッチ回路などを形成することができる。特に、駆動電圧が高いバッファ回4050

路には、ホットキャリア効果による劣化を防ぐ目的から、nチャネル型TFT401または403の構造が適している。

【0175】

画素部407の画素TFT404（第1のnチャネル型TFT）にはチャネル形成領域371、ゲート電極を形成する第2の形状の導電層328の外側に形成される第1の不純物領域372とソース領域またはドレイン領域として機能する第3の不純物領域373を有している。また、保持容量405の一方の電極として機能する半導体層には第4の不純物領域376、第5の不純物領域377が形成されている。保持容量405は、絶縁膜（ゲート絶縁膜と同一膜）を誘電体として、第2形状の電極329と、半導体層306とで形成されている。

10

【0176】

なお、画素部407の画素TFTにおいては、第2のレーザー光の照射により従来と比較して顕著にオフ電流の低減、およびオフ電流のバラツキの低減が実現されている。

【0177】

また、画素電極を透明導電膜で形成すると、フォトマスクは1枚増えるものの、透過型の表示装置を形成することができる。

【0178】

[実施例2]

実施例1では、ゲート電極構造を3層構造とした例を示したが、ゲート電極構造を2層構造とした例を示す。なお、本実施例は、ゲート電極以外は実施例1と同一であるため、異なる点のみを説明する。

20

【0179】

本実施例では、本実施例では、膜厚30nmのTaN膜からなる第1の導電膜と、膜厚370nmのW膜からなる第2の導電膜を積層形成する。TaN膜はスパッタ法で形成し、Taのターゲットを用い、窒素を含む雰囲気内でスパッタする。また、W膜は、Wのターゲットを用いたスパッタ法で形成する。また、W膜に代えて、WとMoからなる合金膜を用いてもよい。

【0180】

本実施例では、実施例1と同様に、ICPエッチング法を用い、エッチング条件（コイル型の電極に印加される電力量、基板側の電極に印加される電力量、基板側の電極温度等）を適宜調節することによって所望のテーパー形状に膜をエッチングすることができる。なお、エッチング用ガスとしては、Cl₂、BCl₃、SiCl₄、CCl₄などを代表とする塩素系ガスまたはCF₄、SF₆、NF₃などを代表とするフッ素系ガス、またはO₂を適宜用いることができる。

30

【0181】

実施例1と同様に第1のエッチング処理では第1及び第2のエッチング条件で行う。第1のエッチング条件として、エッチング用ガスにCF₄とCl₂とO₂とを用い、それぞれのガス流量比を25/25/10(sccm)とし、1Paの圧力でコイル型の電極に500WのRF(13.56MHz)電力を投入してプラズマを生成してエッチングを行う。基板側（試料ステージ）にも150WのRF(13.56MHz)電力を投入し、実質的に負の自己バイアス電圧を印加する。第1のエッチング条件でのWに対するエッチング速度は200.39nm/min、TaNに対するエッチング速度は80.32nm/minであり、TaNに対するWの選択比は約2.5である。また、この第1のエッチング条件によって、Wのテーパー角は、約26°となる。

40

【0182】

この後、レジストからなるマスクを除去せずに第2のエッチング条件に変え、エッチング用ガスにCF₄とCl₂とを用い、それぞれのガス流量比を30/30(sccm)とし、1Paの圧力でコイル型の電極に500WのRF(13.56MHz)電力を投入してプラズマを生成して約30秒程度のエッチングを行う。基板側（試料ステージ）にも20WのRF(13.56MHz)電力を投入し、実質的に負の自己バイアス電圧を印加する。CF₄とCl₂を混合

50

した第2のエッティング条件ではW膜及びTaN膜とも同程度にエッティングされる。第2のエッティング条件でのWに対するエッティング速度は58.97nm/min、TaNに対するエッティング速度は66.43nm/minである。

【0183】

上記第1のエッティング処理では、レジストからなるマスクの形状を適したものとすることにより、基板側に印加するバイアス電圧の効果により第1の導電層及び第2の導電層の端部がテーパー形状となる。このテーパー部の角度は15~45°とすればよい。

【0184】

また、実施例1と同様に第2のエッティング処理を行う。ここでは、エッティング用ガスにSF₆とCl₂とO₂とを用い、それぞれのガス流量比を24/12/24(ccm)とし、1.3Paの圧力でコイル型の電極に700WのRF(13.56MHz)電力を投入してプラズマを生成してエッティングを25秒行った。基板側(試料ステージ)にも10WのRF(13.56MHz)電力を投入し、実質的に負の自己バイアス電圧を印加する。第2のエッティング処理でのWに対するエッティング速度は227.3nm/min、TaNに対するエッティング速度は32.1nm/minであり、TaNに対するWの選択比は7.1であり、ゲート絶縁膜である酸化窒化シリコン膜(SiON)に対するエッティング速度は33.7nm/minであり、TaNに対するWの選択比は6.83である。この第2のエッティング処理によりWのテーパー角は70°となつた。

【0185】

実施例1に比べ、本実施例により形成されるゲート電極は、W膜とTaN膜との積層で形成されているため、電気抵抗値が高いものの、耐熱性が高いため、活性化や水素化の処理条件に左右されないという利点を有している。

【0186】

[実施例3]

本実施例では、実施例1で作製したアクティブマトリクス基板から、アクティブマトリクス型液晶表示装置を作製する工程を以下に説明する。説明には図7を用いる。

【0187】

まず、実施例1に従い、図6の状態のアクティブマトリクス基板を得た後、図6のアクティブマトリクス基板上に配向膜を形成しラビング処理を行う。なお、本実施例では配向膜を形成する前に、アクリル樹脂膜等の有機樹脂膜をバターニングすることによって基板間隔を保持するための柱状のスペーサを所望の位置に形成した。また、柱状のスペーサに代えて、球状のスペーサを基板全面に散布してもよい。

【0188】

次いで、対向基板を用意する。この対向基板には、着色層、遮光層が各画素に対応して配置されたカラーフィルタが設けられている。また、駆動回路の部分にも遮光層を設けた。このカラーフィルタと遮光層とを覆う平坦化膜を設けた。次いで、平坦化膜上に透明導電膜からなる対向電極を画素部に形成し、対向基板の全面に配向膜を形成し、ラビング処理を施した。

【0189】

そして、画素部と駆動回路が形成されたアクティブマトリクス基板と対向基板とをシール材で貼り合わせる。シール材にはフィラーが混入されていて、このフィラーと柱状スペーサによって均一な間隔を持って2枚の基板が貼り合わせられる。その後、両基板の間に液晶材料を注入し、封止剤(図示せず)によって完全に封止する。液晶材料には公知の液晶材料を用いれば良い。このようにしてアクティブマトリクス型液晶表示装置が完成する。そして、必要があれば、アクティブマトリクス基板または対向基板を所望の形状に分断する。さらに、公知の技術を用いて偏光板等を適宜設けた。そして、公知の技術を用いてFPCを貼りつけた。

【0190】

こうして得られた液晶モジュールの構成を図7の上面図を用いて説明する。

【0191】

10

20

30

40

50

アクティブマトリクス基板 501 の中央には、画素部 504 が配置されている。画素部 504 の上側には、ソース信号線を駆動するためのソース信号線駆動回路 502 が配置されている。画素部 504 の左右には、ゲート信号線を駆動するためのゲート信号線駆動回路 503 が配置されている。本実施例に示した例では、ゲート信号線駆動回路 503 は画素部に対して左右対称配置としているが、これは片側のみの配置でも良く、液晶モジュールの基板サイズ等を考慮して、設計者が適宜選択すれば良い。ただし、回路の動作信頼性や駆動効率等を考えると、図 7 に示した左右対称配置が望ましい。

【0192】

各駆動回路への信号の入力は、フレキシブルプリント基板 (Flexible Print Circuit : FPC) 505 から行われる。FPC 505 は、基板 501 の所定の場所まで配置された配線に達するように、層間絶縁膜および樹脂膜にコンタクトホールを開口し、接続電極 602 を形成した後、異方性導電膜等を介して圧着される。本実施例においては、接続電極は ITO を用いて形成した。

【0193】

駆動回路、画素部の周辺には、基板外周に沿ってシール剤 507 が塗布され、あらかじめアクティブマトリクス基板上に形成されたスペーサによって一定のギャップ（基板 501 と対向基板 506 との間隔）を保った状態で、対向基板 506 が貼り付けられる。その後、シール剤 507 が塗布されていない部分より液晶素子が注入され、封止剤 508 によって密閉される。以上の工程により、液晶モジュールが完成する。

【0194】

また、ここでは全ての駆動回路を基板上に形成した例を示したが、駆動回路の一部に数個の IC を用いてもよい。

【0195】

[実施例 4]

実施例 1 では画素電極が反射性を有する金属材料で形成された反射型の表示装置の例を示したが、本実施例では画素電極を透光性を有する導電膜で形成した透過型の表示装置の例を示す。

【0196】

層間絶縁膜を形成する工程までは実施例 1 と同じであるので、ここでは省略する。実施例 1 に従って層間絶縁膜を形成した後、透光性を有する導電膜からなる画素電極 601 を形成する。透光性を有する導電膜としては、ITO（酸化インジウム酸化スズ合金）、酸化インジウム酸化亜鉛合金 (In_2O_3-ZnO)、酸化亜鉛 (ZnO) 等を用いればよい。

【0197】

その後、層間絶縁膜 600 にコンタクトホールを形成する。次いで、画素電極と重なる接続電極 602 を形成する。この接続電極 602 は、コンタクトホールを通じてドレイン領域と接続されている。また、この接続電極と同時に他の TFT のソース電極またはドレイン電極も形成する。

【0198】

また、ここでは全ての駆動回路を基板上に形成した例を示したが、駆動回路の一部に数個の IC を用いてもよい。

【0199】

以上のようにしてアクティブマトリクス基板が形成される。このアクティブマトリクス基板を用い、実施例 3 に従って液晶モジュールを作製し、バックライト 604、導光板 605 を設け、カバー 606 で覆えば、図 8 にその断面図の一部を示したようなアクティブマトリクス型液晶表示装置が完成する。なお、カバーと液晶モジュールは接着剤や有機樹脂を用いて貼り合わせる。また、基板と対向基板を貼り合わせる際、枠で囲んで有機樹脂を枠と基板との間に充填して接着してもよい。また、透過型であるので偏光板 603 は、アクティブマトリクス基板と対向基板の両方に貼り付ける。

【0200】

[実施例 5]

10

20

30

40

50

本実施例では、EL (Electro Luminescence) 素子を備えた発光表示装置を作製する例を図9に示す。OLEDは、電場を加えることで発生するルミネッセンス(Electroluminescence)が得られる有機化合物(有機発光材料)を含む層(以下、有機発光層と記す)と、陽極と、陰極とを有している。OLEDを用いた発光装置にとって、TFTはアクティブラマトリクス駆動方式を実現する上で、必須の素子となっている。従って、OLEDを用いた発光装置は、少なくとも、スイッチング素子として機能するTFTと、OLEDに電流を供給するTFTとが、各画素に設けられることになる。画素の回路構成、及び駆動方法によらず、OLEDと電気的に接続され、且つ、OLEDに電流を供給するTFTのオン電流(I_{on})で画素の輝度が決定されるため、例えば、全面白表示とした場合、オン電流が一定でなければ輝度にバラツキが生じてしまうという問題があった。これらの問題を本発明で解決することができる。なお、有機化合物(有機発光材料)を含む層に無機材料(シリコンまたは酸化シリコンなど)を含んでいてもよい。

10

【0201】

図9(A)は、ELモジュールを示す上面図、図9(B)は図9(A)をA-A'で切断した断面図である。絶縁表面を有する基板900(例えば、ガラス基板、結晶化ガラス基板、もしくはプラスチック基板等)に、画素部902、ソース側駆動回路901、及びゲート側駆動回路903を形成する。これらの画素部や駆動回路は、上記実施例に従えば得ることができる。また、918はシール材、919は DLC からなる保護膜であり、画素部および駆動回路部はシール材918で覆われ、そのシール材は保護膜919で覆われている。さらに、接着材を用いてカバー材920で封止されている。熱や外力などによる変形に耐えるためカバー材920は基板900と同じ材質のもの、例えばガラス基板を用いることが望ましく、サンドblast法などにより図9に示す凹部形状(深さ3~10μm)に加工する。さらに加工して乾燥剤921が設置できる凹部(深さ50~200μm)を形成することが望ましい。また、多面取りでELモジュールを製造する場合、基板とカバー材とを貼り合わせた後、CO₂レーザー等を用いて端面が一致するように分断してもよい。

20

【0202】

なお、908はソース側駆動回路901及びゲート側駆動回路903に入力される信号を伝送するための配線であり、外部入力端子となるFPC(フレキシブルプリントサーキット)909からビデオ信号やクロック信号を受け取る。なお、ここではFPCしか図示されていないが、このFPCにはプリント配線基盤(PWB)が取り付けられていても良い。本明細書における発光装置には、発光装置本体だけでなく、それにFPCもしくはPWBが取り付けられた状態をも含むものとする。

30

【0203】

次に、断面構造について図9(B)を用いて説明する。基板900上に絶縁膜910が設けられ、絶縁膜910の上方には画素部902、ゲート側駆動回路903が形成されており、画素部902は電流制御用TFT911とそのドレインに電気的に接続された画素電極912を含む複数の画素により形成される。また、ゲート側駆動回路903はnチャネル型TFT913とpチャネル型TFT914とを組み合わせたCMOS回路を用いて形成される。

40

【0204】

これらのTFT(911、913、914を含む)は、上記実施例に従って作製すればよい。OLEDを有する半導体装置においては、画素電極に一定の電流が流れるように配置されたTFT(駆動回路または画素に配置されるOLEDに電流を供給するTFT)のオン電流(I_{on})のバラツキを低減することができ、輝度のバラツキを低減できる。

【0205】

画素電極912は発光素子(EL素子)の陽極として機能する。また、画素電極912の両端にはバンク915が形成され、画素電極912上にはEL層916および発光素子の陰極917が形成される。

【0206】

50

EL層916としては、発光層、電荷輸送層または電荷注入層を自由に組み合わせてEL層（発光及びそのためのキャリアの移動を行わせるための層）を形成すれば良い。例えば、低分子系有機EL材料や高分子系有機EL材料を用いればよい。また、EL層として一重項励起により発光（蛍光）する発光材料（シングレット化合物）からなる薄膜、または三重項励起により発光（リン光）する発光材料（トリプレット化合物）からなる薄膜を用いることができる。また、電荷輸送層や電荷注入層として炭化珪素等の無機材料を用いることも可能である。これらの有機EL材料や無機材料は公知の材料を用いることができる。

【0207】

陰極917は全画素に共通の配線としても機能し、接続配線908を経由してFPC909に電気的に接続されている。さらに、画素部902及びゲート側駆動回路903に含まれる素子は全て陰極917、シール材918、及び保護膜919で覆われている。10

【0208】

なお、シール材918としては、できるだけ可視光に対して透明もしくは半透明な材料を用いるのが好ましい。また、シール材918はできるだけ水分や酸素を透過しない材料であることが望ましい。

【0209】

また、シール材918を用いて発光素子を完全に覆った後、すくなくとも図9に示すようにDLC膜等からなる保護膜919をシール材918の表面（露呈面）に設けることが好ましい。また、基板の裏面を含む全面に保護膜を設けてもよい。ここで、外部入力端子（FPC）が設けられる部分に保護膜が成膜されないように注意することが必要である。マスクを用いて保護膜が成膜されないようにしてもよいし、CVD装置でマスキングテープとして用いるテープで外部入力端子部分を覆うことで保護膜が成膜されないようにしてもよい。20

【0210】

以上のような構造で発光素子をシール材918及び保護膜で封入することにより、発光素子を外部から完全に遮断することができ、外部から水分や酸素等のEL層の酸化による劣化を促す物質が侵入することを防ぐことができる。従って、信頼性の高い発光装置を得ることができる。

【0211】

また、画素電極を陰極とし、EL層と陽極を積層して図9とは逆方向に発光する構成としてもよい。図10にその一例を示す。なお、上面図は同一であるので省略する。30

【0212】

図10に示した断面構造について以下に説明する。基板1000としては、ガラス基板や石英基板の他にも、半導体基板または金属基板も使用することができる。基板1000上に絶縁膜1010が設けられ、絶縁膜1010の上方には画素部1002、ゲート側駆動回路1003が形成されており、画素部1002は電流制御用TFT1011とそのドレインに電気的に接続された画素電極1012を含む複数の画素により形成される。また、ゲート側駆動回路1003はnチャネル型TFT1013とpチャネル型TFT1014とを組み合わせたCMOS回路を用いて形成される。40

【0213】

画素電極1012は発光素子の陰極として機能する。また、画素電極1012の両端にはバンク1015が形成され、画素電極1012上にはEL層1016および発光素子の陽極1017が形成される。

【0214】

陽極1017は全画素に共通の配線としても機能し、接続配線1008を経由してFPC1009に電気的に接続されている。さらに、画素部1002及びゲート側駆動回路1003に含まれる素子は全て陽極1017、シール材1018、及びDLC等からなる保護膜1019で覆われている。また、カバー材1021と基板1000とを接着剤で貼り合わせた。また、カバー材には凹部を設け、乾燥剤1021を設置する。50

【 0 2 1 5 】

なお、シール材 1018 としては、できるだけ可視光に対して透明もしくは半透明な材料を用いるのが好ましい。また、シール材 1018 はできるだけ水分や酸素を透過しない材料であることが望ましい。

【 0 2 1 6 】

また、図 10 では、画素電極を陰極とし、EL 層と陽極を積層したため、発光方向は図 10 に示す矢印の方向となっている。

【 0 2 1 7 】

なお、本実施例は実施例 1、実施の形態 1、または実施の形態 2 と組み合わせることが可能である。

10

【 0 2 1 8 】**[実施例 6]**

図 11 は本発明に適用可能なレーザー処理装置の一態様を示す図である。この装置はレーザー 700、光学系 701、基板ステージ 702、基板搬送手段 704、プロワー 710 などから構成されている。また、付随するものとして、基板 711 を保管するカセット 708、カセットを保持する 707、プロワーから供給されたガスで基板上のゴミ等を除去するためのガス噴出口となるノズル 709 などが備えられている。なお、ノズル 709 から放出するガスはレーザー光が照射される領域に吹き付けられる。

【 0 2 1 9 】

レーザーは波長 400 nm 以下の光を発振するエキシマレーザーなどの気体レーザーや、Nd-YAG レーザー、Nd-YVO₄ レーザー、YLF レーザーなどの固体レーザーを用いる。Nd-YAG レーザーでは基本波 (1060 nm) の他に、第 2 高調波 (532 nm) や第 3 高調波 (353.3 nm) などを用いることができる。これらのレーザーはパルス発振するものを用い、発振周波数は 5 ~ 300 Hz 程度のものが採用される。

20

【 0 2 2 0 】

光学系 701 はレーザー 700 から放出されるレーザー光を集光及び伸張して、被照射面に断面形状が細い線状のレーザー光を照射するためのものである。その構成は任意なものとして良いが、シリンドリカルレンズアレイ 712、シリンドリカルレンズ 713、ミラー 714、ダブルレットシリンドリカルレンズ 715 などを用いて構成する。レンズの大きさにもよるが、長手方向は 100 ~ 400 mm 程度、短手方向は 100 ~ 500 μm 程度の線状レーザー光を照射することが可能である。

30

【 0 2 2 1 】

ステージ 702 は処理する基板 711 を保持し、レーザーと同期して移動させるためのものである。ステージ 702 には、圧縮空気又は圧縮窒素を供給する気体供給手段 703 が接続されている。ステージ 702 の主表面に設けられた細孔から気体を噴射して基板 711 をステージ 702 に接触させることなく保持することを可能としている。細孔から噴出する気体を基板の一主表面に当てて保持することで、基板を湾曲させることなく保持することができる。基板 711 を浮遊させる高さは 10 μm 以上 1 cm 以下が可能である。ステージに直接接触させることなく基板 711 を保持することで、基板 711 の汚染の防止、基板の温度変化を小さくすることができる。

40

【 0 2 2 2 】

基板 711 のカセット 708 からの取り出し、及びレーザー処理に伴う移動は搬送手段 704 により行う。搬送手段 704 にはアーム 705 が備えられている。アーム 705 は基板 711 の一端を掴み一軸方向に動かすことにより、前述の線状レーザー光を基板の全面に照射することができる。搬送手段 704 は制御装置 706 によりレーザー 700 の発振と連動して動作させる。

【 0 2 2 3 】

また、基板 711 の一辺が線状レーザー光の長手方向の長さよりも大きい場合には、一軸方向と直交する方向に基板を動かすことが可能な搬送手段を設ける（図示せず）。互いに交差する方向に基板を動かすことが可能な 2 つの搬送手段により、前述の線状レーザー光

50

を基板の全面に照射することが可能となる。

【0224】

このようなレーザー装置は、特に一辺が1000mmを超えるかつ厚さが1mm以下のガラス基板を処理する場合に有用である。例えば、1200mm×1600mmや2000mm×2500mmであって、厚さが0.4~0.7mmのガラス基板を処理することもできる。ガラス基板の面積が大型化しその厚さが薄くなると、ガラス基板は容易に湾曲するが、ステージ702の構成として説明したように細孔から噴出する気体をもって基板を保持することにより平坦な面を保つて基板を保持することができる。

【0225】

また、本実施例は、実施の形態1または実施の形態2、或いは実施例1乃至5のいずれか一と自由に組み合わせることが可能である。例えば、実施の形態1における第1のレーザー光の照射に適用することが可能であり、その際ノズルから吹きつけるガスを大気または酸素を含むガスとしてレーザー光の照射領域に吹きつけなければよい。また、実施の形態1における第2のレーザー光の照射に適用することも可能であり、その場合には、ノズルから吹きつけるガスを不活性気体、例えば窒素としてレーザー光の照射領域に吹きつけ、半導体膜表面の平坦化を行えばよい。従って、本実施例と実施の形態1と組み合わせる場合、レーザー光の照射処理室の雰囲気を入れ替える必要なく、ノズルから吹きつけるガスを適宜切り替えることによって第1のレーザー光の照射及び第2のレーザー光の照射を短時間で行うことができる。

【0226】

[実施例7]

本発明を実施して形成された駆動回路や画素部は様々なモジュール（アクティブマトリクス型液晶モジュール、アクティブマトリクス型ELモジュール、アクティブマトリクス型ECモジュール）に用いることができる。即ち、本発明を実施することによって、それらを組み込んだ全ての電子機器が完成される。

【0227】

その様な電子機器としては、ビデオカメラ、デジタルカメラ、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、パソコン用コンピュータ、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14～図16に示す。

【0228】

図14(A)はパソコン用コンピュータであり、本体2001、画像入力部2002、表示部2003、キーボード2004等を含む。

【0229】

図14(B)はビデオカメラであり、本体2101、表示部2102、音声入力部2103、操作スイッチ2104、バッテリー2105、受像部2106等を含む。

【0230】

図14(C)はモバイルコンピュータ（モービルコンピュータ）であり、本体2201、カメラ部2202、受像部2203、操作スイッチ2204、表示部2205等を含む。

【0231】

図14(D)はゴーグル型ディスプレイであり、本体2301、表示部2302、アーム部2303等を含む。

【0232】

図14(E)はプログラムを記録した記録媒体（以下、記録媒体と呼ぶ）を用いるプレーヤーであり、本体2401、表示部2402、スピーカ部2403、記録媒体2404、操作スイッチ2405等を含む。なお、このプレーヤーは記録媒体としてDVD（Digital Versatile Disc）、CD等を用い、音楽鑑賞や映画鑑賞やゲームやインターネットを行うことができる。

【0233】

図14(F)はデジタルカメラであり、本体2501、表示部2502、接眼部2503

10

20

30

40

50

、操作スイッチ 2504、受像部（図示しない）等を含む。

【0234】

図15（A）はフロント型プロジェクターであり、投射装置2601、スクリーン2602等を含む。実施例4を投射装置2601の一部を構成する液晶モジュール2808に適用し、装置全体を完成させることができる。

【0235】

図15（B）はリア型プロジェクターであり、本体2701、投射装置2702、ミラー2703、スクリーン2704等を含む。実施例4を投射装置2702の一部を構成する液晶モジュール2808に適用し、装置全体を完成させることができる。

【0236】

なお、図15（C）は、図15（A）及び図15（B）中における投射装置2601、2702の構造の一例を示した図である。投射装置2601、2702は、光源光学系2801、ミラー2802、2804～2806、ダイクロイックミラー2803、プリズム2807、液晶モジュール2808、位相差板2809、投射光学系2810で構成される。投射光学系2810は、投射レンズを含む光学系で構成される。本実施例は三板式の例を示したが、特に限定されず、例えば単板式であってもよい。また、図15（C）中において矢印で示した光路に実施者が適宜、光学レンズや、偏光機能を有するフィルムや、位相差を調節するためのフィルム、IRフィルム等の光学系を設けてもよい。

【0237】

また、図15（D）は、図15（C）中における光源光学系2801の構造の一例を示した図である。本実施例では、光源光学系2801は、リフレクター2811、光源2812、レンズアレイ2813、2814、偏光変換素子2815、集光レンズ2816で構成される。なお、図15（D）に示した光源光学系は一例であって特に限定されない。例えば、光源光学系に実施者が適宜、光学レンズや、偏光機能を有するフィルムや、位相差を調節するフィルム、IRフィルム等の光学系を設けてもよい。

【0238】

ただし、図15に示したプロジェクターにおいては、透過型の電気光学装置を用いた場合を示しており、反射型の電気光学装置及びELモジュールでの適用例は図示していない。

【0239】

図16（A）は携帯電話であり、本体2901、音声出力部2902、音声入力部2903、表示部2904、操作スイッチ2905、アンテナ2906、画像入力部（CCD、イメージセンサ等）2907等を含む。

【0240】

図16（B）は携帯書籍（電子書籍）であり、本体3001、表示部3002、3003、記憶媒体3004、操作スイッチ3005、アンテナ3006等を含む。

【0241】

図16（C）はディスプレイであり、本体3101、支持台3102、表示部3103等を含む。

【0242】

ちなみに図16（C）に示すディスプレイは中小型または大型のもの、例えば5～20インチの画面サイズのものである。また、このようなサイズの表示部を形成するためには、基板の一辺が1mのものを用い、多面取りを行って量産することが好ましい。

【0243】

以上の様に、本発明の適用範囲は極めて広く、あらゆる分野の電子機器の作製方法に適用することが可能である。また、本実施例の電子機器は実施例1～6のどのような組み合わせからなる構成を用いても実現することができる。

【0244】

[実施例8]

本実施例では、上記実施の形態1及び上記実施の形態2に示したTFT製造工程で得られたTFTの各電気特性を図17～図19に示す。

10

20

30

40

50

【0245】

なお、図17～図19中に示すサンプルA1～A3は、実施の形態1に対応する工程で作製したTFT(nチャネル型 TFT、L/W=50/50)であり、B1～B3は実施の形態2に対応する工程で作製したTFT(nチャネル型 TFT、L/W=50/50)である。

【0246】

次に、サンプルA1～A3の作製工程を示す。まず、ガラス基板上に膜厚150nmの下地絶縁膜(膜厚50nmの第1酸化窒化シリコン膜と膜厚100nmの第2酸化窒化シリコン膜)を形成し、下地絶縁膜上に54nmの非晶質シリコン膜をプラズマCVD法にて形成する。次いで、オゾン水で非晶質シリコン膜表面に酸化膜を形成した後、TFTしきい値電圧を制御するため、p型またはn型の不純物元素を低濃度に添加するチャネルドープ工程を行う。なお、ここではジボラン(B_2H_6)を質量分離しないでプラズマ励起したイオンドープ法を行い、ドーピング条件を加速電圧15kV、ジボランガス流量30scm、ドーズ量 $1 \times 10^{12} / cm^2$ で非晶質シリコン膜にボロンを添加した。次いで、重量換算で10ppmのニッケルを含む酢酸ニッケル塩溶液をスピナーで塗布する。次いで、熱処理を行い、結晶化を行う。

10

【0247】

サンプルA1は、この熱処理の際、合計21本のタンゲステンハロゲンランプを用いたマルチタスク型のランプアニール装置で700、90秒の強光の照射を行って結晶化したTFTである。また、サンプルA2、A3においては、500、1時間の脱水素化を行った後、炉を用いた熱処理(550、4時間)を行って結晶化したTFTである。

20

【0248】

次いで、表面を洗浄して自然酸化膜等を除去した後、結晶化率(膜の全体積における結晶成分の割合)を高め、結晶粒内に残される欠陥を補修するために、レーザー光(第1のレーザー光：エネルギー密度475mJ/cm²)を大気または酸素雰囲気で照射する。

【0249】

サンプルA1、A3は、この第1のレーザー光を照射する際、エキシマレーザーを用いて酸素と窒素の雰囲気で照射したTFTである。対して、サンプルA2は大気で照射したTFTである。

【0250】

30

次いで、レーザー光(第1のレーザー光)を照射した場合、表面に凹凸が形成されるとともに薄い酸化膜が形成される。さらに、オゾン含有水溶液(代表的にはオゾン水)で酸化膜を形成して合計1～10nmの酸化膜からなるバリア層を形成し、このバリア層上にアルゴン元素を含む非晶質シリコン膜(ゲッタリングサイトとなる)をスパッタ法で膜厚150nm形成する。なお、ここでは、レーザー光を照射した場合に形成される酸化膜もバリア層の一部と見なしている。

【0251】

次いで、上記ランプアニール装置を用いて650、180秒の強光の照射を行って、第1の半導体膜中における金属元素(ニッケル)の濃度を低減、あるいは除去するゲッタリングを行う。

40

【0252】

次いで、バリア層をエッティングストッパーとして、アルゴン元素を含む非晶質シリコン膜のみを選択的に除去した後、酸化膜からなるバリア層を除去する。

【0253】

次いで、結晶構造を有するシリコン膜に対してレーザー光(第2のレーザー光：エネルギー密度535mJ/cm²)を窒素雰囲気で照射する。この第2のレーザー光の照射直後に光学顕微鏡で観察して、第1のレーザー光の照射直後と比較してシリコン膜の表面が平坦化されたことを確認した。

【0254】

次いで、得られた結晶構造を有するシリコン膜(ポリシリコン膜とも呼ばれる)の表面に

50

オゾン水で薄い酸化膜を形成した後、レジストからなるマスクを形成し、所望の形状にエッチング処理して島状に分離された半導体層を形成する。次いで、半導体層を形成した後、レジストからなるマスクを除去する。

【0255】

次いで、フッ酸を含むエッチャントで酸化膜を除去すると同時にシリコン膜の表面を洗浄した後、ゲート絶縁膜となる珪素を主成分とする絶縁膜をプラズマCVD法により115nmの厚さで酸化窒化シリコン膜（組成比Si=32%、O=59%、N=7%、H=2%）で形成した。

【0256】

以降の工程は、実施例1に従い、ゲート電極の形成以降を行ってサンプルA1～A3のTFTを作製した。 10

【0257】

次に、サンプルB1～B3の作製工程を示す。サンプルA1～A3はゲッタリング後に第2のレーザー光を照射したTFTであったが、サンプルB1～B3は、第2のレーザー光を照射した後にゲッタリングを行ったTFTである。

【0258】

まず、サンプルB1～B3は、サンプルA1～A3と同様の手順で、基板上に下地絶縁膜、非晶質シリコン膜を形成し、ニッケルを含む酢酸ニッケル塩溶液をスピナーで塗布した後、熱処理を行い、結晶化を行って結晶構造を有するシリコン膜を形成する。 20

【0259】

サンプルB1は、この熱処理の際、ランプアニール装置で700、90秒の強光の照射を行って結晶化したTFTである。また、サンプルB2、B3においては、500、1時間の脱水素化を行った後、炉を用いた熱処理（550、4時間）を行って結晶化したTFTである。 20

【0260】

次いで、表面を洗浄して自然酸化膜等を除去した後、結晶化率（膜の全体積における結晶成分の割合）を高め、結晶粒内に残される欠陥を補修するために、レーザー光（第1のレーザー光：エネルギー密度475mJ/cm²）を大気または酸素雰囲気で照射する。

【0261】

サンプルB1、B3は、この第1のレーザー光を照射する際、エキシマレーザーを用いて酸素と窒素の雰囲気で照射したTFTである。対して、サンプルB2は大気でエキシマレーザーを照射したTFTである。 30

【0262】

次いで、表面を洗浄して自然酸化膜等を除去した後、結晶構造を有するシリコン膜に対してレーザー光（第2のレーザー光：エネルギー密度535mJ/cm²）を窒素雰囲気で照射する。この第2のレーザー光の照射直後に光学顕微鏡で観察してシリコン膜の表面が平坦化されたことを確認した。

【0263】

次いで、オゾン含有水溶液（代表的にはオゾン水）で酸化膜を形成して1～10nmの酸化膜からなるバリア層を形成し、このバリア層上にアルゴン元素を含む非晶質シリコン膜（ゲッタリングサイトとなる）をスパッタ法で膜厚150nm形成する。 40

【0264】

次いで、上記ランプアニール装置を用いて650、180秒の強光の照射を行って、第1の半導体膜中における金属元素（ニッケル）の濃度を低減、あるいは除去するゲッタリングを行う。

【0265】

次いで、バリア層をエッチングストッパーとして、アルゴン元素を含む非晶質シリコン膜のみを選択的に除去した後、酸化膜からなるバリア層を除去する。

【0266】

次いで、得られた結晶構造を有するシリコン膜（ポリシリコン膜とも呼ばれる）の表面に 50

オゾン水で薄い酸化膜を形成した後、レジストからなるマスクを形成し、所望の形状にエッチング処理して島状に分離された半導体層を形成する。次いで、半導体層を形成した後、レジストからなるマスクを除去する。

【0267】

次いで、フッ酸を含むエッチャントで酸化膜を除去すると同時にシリコン膜の表面を洗浄した後、ゲート絶縁膜となる珪素を主成分とする絶縁膜をプラズマCVD法により115nmの厚さで酸化窒化シリコン膜（組成比Si = 32%、O = 59%、N = 7%、H = 2%）で形成した。

【0268】

以降の工程は、サンプルA1～A3と同様に実施例1に従い、ゲート電極の形成以降を行ってサンプルB1～B3のTFTを作製した。 10

【0269】

また、比較するためのサンプルとして、比較例を示した。この比較例は、第2のレーザー光の照射を行わず、第1のレーザー光を酸素と窒素の雰囲気で行ったTFTである。

【0270】

上記手順によって得られたTFT（サンプルA1～A3、サンプルB1～B3、比較例）の電気特性をそれぞれ測定した。

【0271】

図17(A)は、Vd = 1Vとした時のオフ電流値（Ioff1と呼ぶ）であり、図17(B)は、Vd = 5Vとした時のオフ電流値（Ioff2と呼ぶ）である。図17(A)、図17(B)から、比較例と比較してサンプルA1～A3、サンプルB1～B3のオフ電流値が低いことが読み取れる。また、実施の形態2のプロセスに対応するサンプルB1～B3のオフ電流値がサンプルA1～A3よりも低いことも読み取れる。従って、オフ電流値を重視するのであれば、実施の形態1よりもゲッタリング前に第2のレーザー光で平坦化を行う実施の形態2のほうが好ましいプロセスであると言える。 20

【0272】

また、図18は、S値（サブスレッシュルド係数（単位：V/decade）である。サンプルB1～B3のS値が最も低く良好な値を示していることが読み取れる。また、実施の形態2のプロセスに対応するサンプルB1～B3のS値がサンプルA1～A3よりも低いことも読み取れる。なお、サンプルB1～B3のS値は比較例よりS値が向上している。 30

【0273】

また、図19は、電界効果移動度（μFE：モビリティとも呼ばれ、単位は、cm²/V s）である。サンプルB1～B3の電界効果移動度が高く良好な値を示していることが読み取れる。また、実施の形態2のプロセスに対応するサンプルB1～B3の電界効果移動度がサンプルA1～A3よりも高いことも読み取れる。

【0274】

図17～図19の実験結果により、実施の形態1及び実施の形態2の効果が確認できる。結果として、S値や電界効果移動度に関しても、実施の形態2のプロセスは、実施の形態1のプロセスよりも優れていると言える。

【0275】

また、オフ電流値のバラツキは、どちらのプロセスにおいても低減していることが読み取れるが、S値や電界効果移動度のバラツキは比較例と比べてやや大きくなっている傾向がある。このS値や電界効果移動度のバラツキを低減するには、第2のレーザー光のショット数を第1のレーザー光のショット数よりも少なくすることで解決することができる。 40

【0276】

【発明の効果】

本発明により、半導体膜の平坦性を格段に向上させることで、結晶化を助長するために添加した金属元素を効率よく除去することができ、該半導体膜を活性層とするTFTにおいて電気特性の向上、及び、個々の素子間でのバラツキを低減することができる。特に、液晶表示装置においては、TFT特性のバラツキに起因する表示むらを低減できる。また、 50

OLEDを有する半導体装置においては、画素電極に一定の電流が流れるように配置されたTFT(駆動回路または画素に配置されるOLEDに電流を供給するTFT)のオン電流(I_{on})のバラツキを低減することができ、輝度のバラツキを低減できる。

【0277】

加えて、本発明により半導体膜の平坦性を格段に向上させ、TFTのオフ電流値を低減することができるとともに、そのオフ電流値のバラツキも抑制することができる。従って、そのようなTFTを用いた半導体装置の動作特性を向上させ、かつ、低消費電力化を実現することができる。

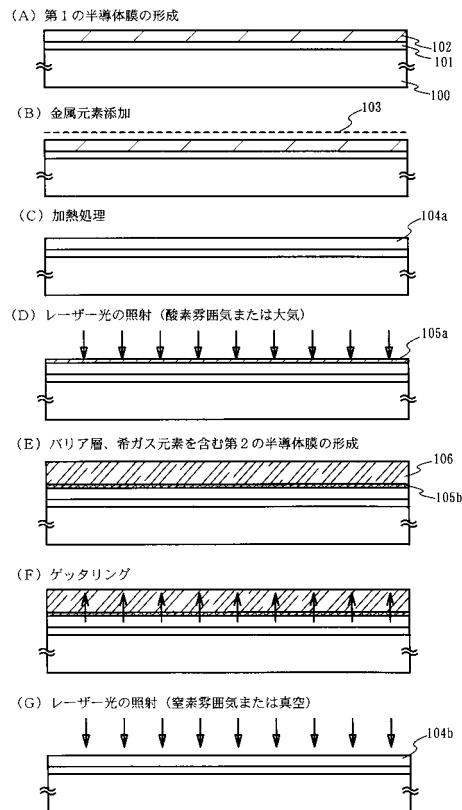
【0278】

また、第2のレーザー光のショット数を第1のレーザー光のショット数よりも少なくすることにより、2回のレーザー照射することに起因するTFTの特性、例えばS値、V_thなどのバラツキを低減することができる。10

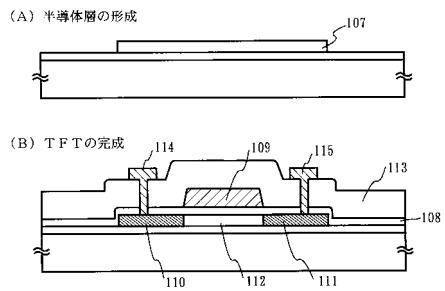
【図面の簡単な説明】

- 【図1】 実施の形態1を説明する図。
- 【図2】 実施の形態1を説明する図。
- 【図3】 実施の形態2を説明する図。
- 【図4】 AM-LCDの作製工程を示す図。
- 【図5】 AM-LCDの作製工程を示す図。
- 【図6】 アクティブマトリクス型基板の断面構造図。
- 【図7】 液晶モジュールの外観を示す上面図である。20
- 【図8】 液晶表示装置の断面図の一例を示す図である。
- 【図9】 ELモジュールの上面および断面を示す図である。
- 【図10】 ELモジュールの断面を示す図である。
- 【図11】 レーザー処理装置の一態様を示す図である。
- 【図12】 オフ電流値($V_{ds} = 14V$)における確率統計分布図である。
- 【図13】 第2のレーザー光のエネルギー密度と $P-V$ 値との関係を示す図である。
- 【図14】 電子機器の一例を示す図。
- 【図15】 電子機器の一例を示す図。
- 【図16】 電子機器の一例を示す図。
- 【図17】 TFT特性(オフ電流値)を示すグラフ。30
- 【図18】 TFT特性(S値)を示すグラフ。
- 【図19】 TFT特性(電界効果移動度)を示すグラフ。
- 【図20】 半導体膜表面におけるAFM観察結果($4\mu m \times 4\mu m$)
- 【図21】 比較例での半導体膜表面におけるAFM観察結果($4\mu m \times 4\mu m$)
- 【図22】 ゲート電極近傍を観察したTEM写真図。(実施例1)
- 【図23】 ゲート電極近傍を観察したTEM写真図。(比較例)
- 【図24】 nチャネル型のTFT特性の標準偏差を示すグラフ。
- 【図25】 pチャネル型のTFT特性の標準偏差を示すグラフ。
- 【図26】 nチャネル型のTFT特性のゲートリーアクション電流($V_G = 40V$)を示すグラフ。40

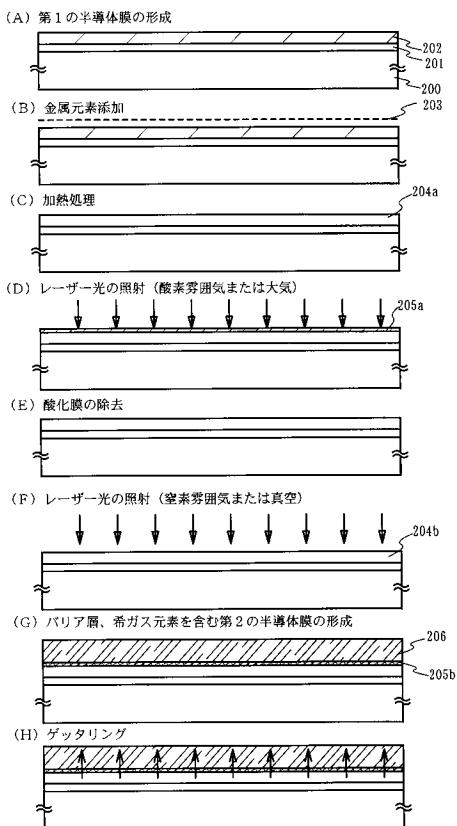
【図1】



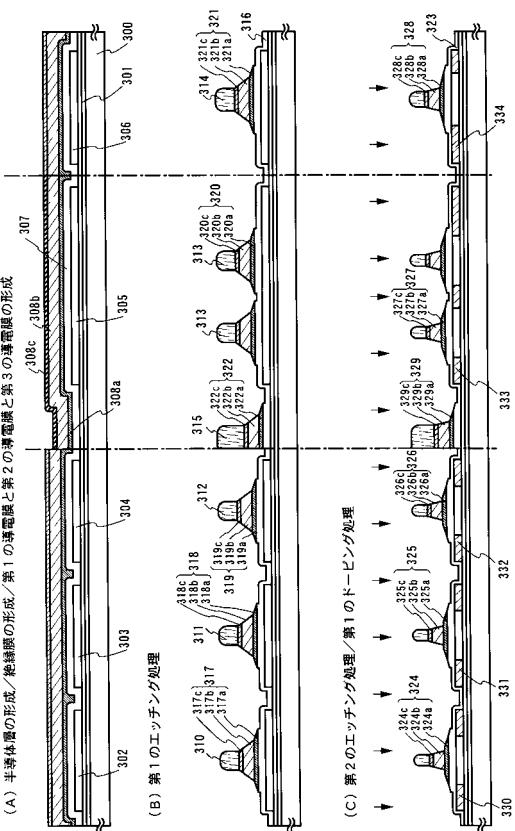
【図2】



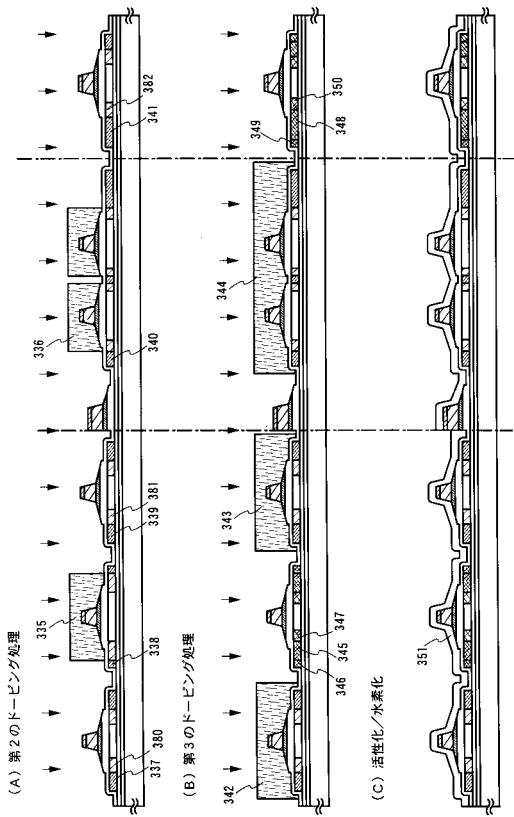
【図3】



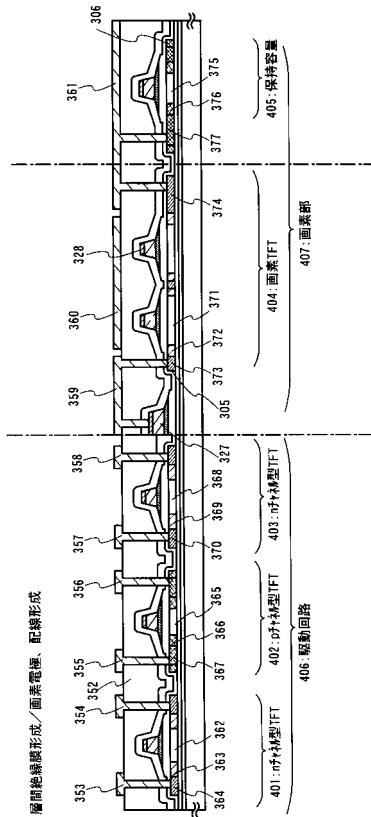
【図4】



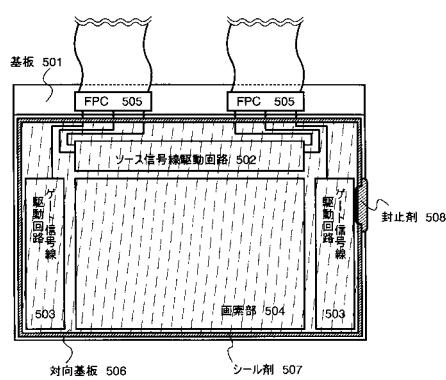
【図5】



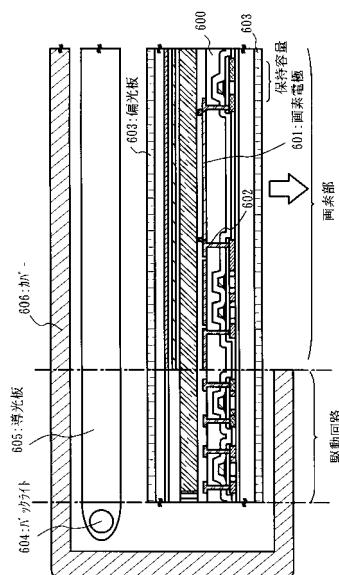
【図6】



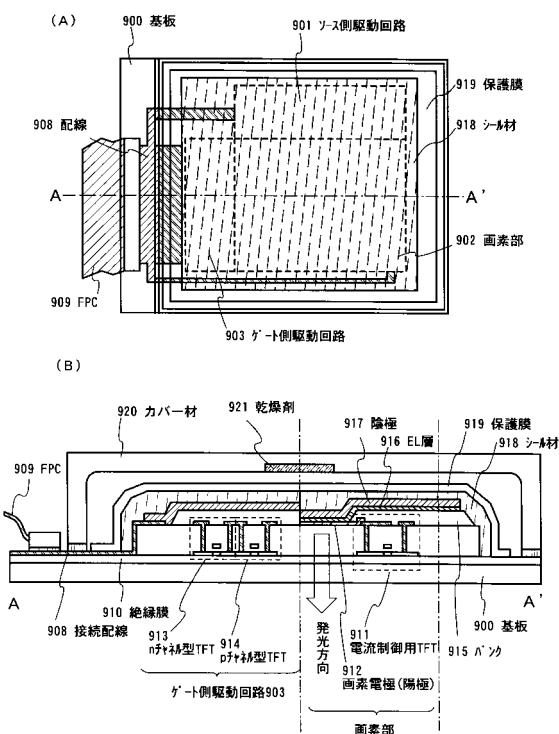
【図7】



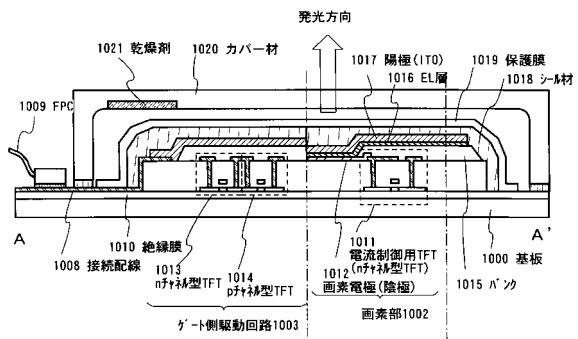
【図8】



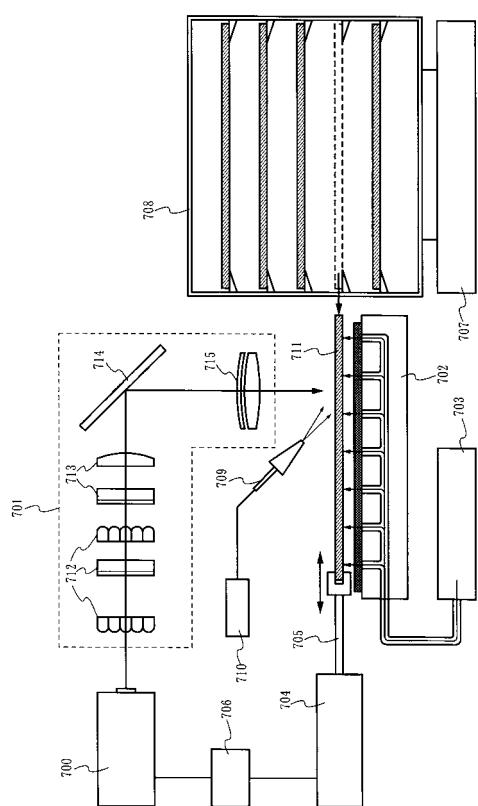
【図9】



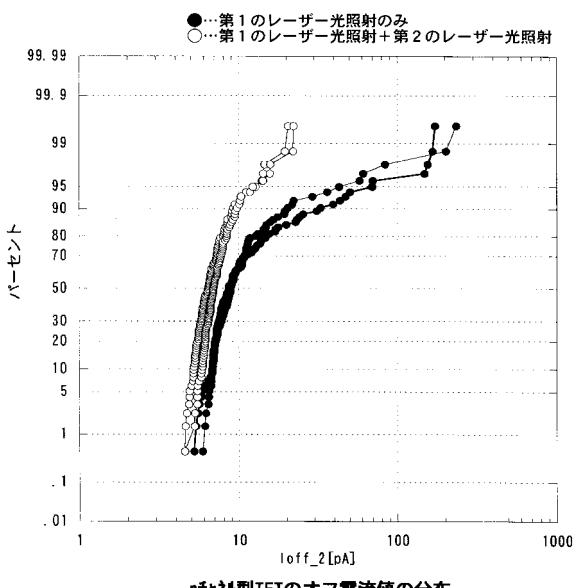
【図10】



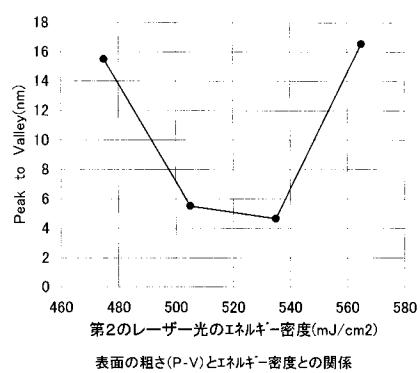
【図 1 1】



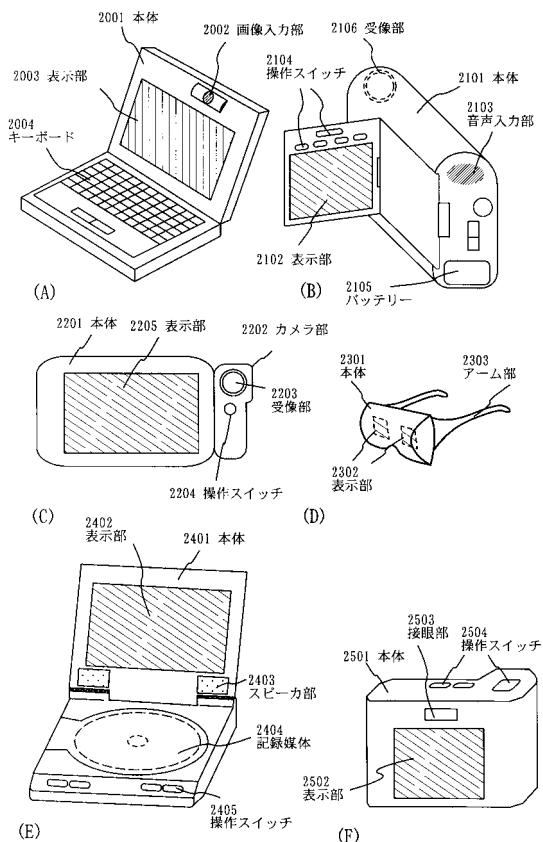
【図12】



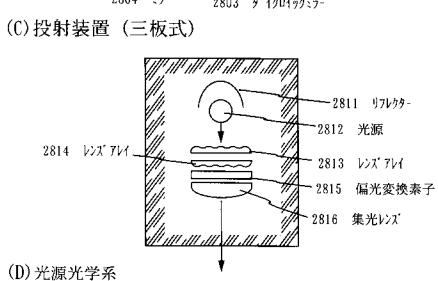
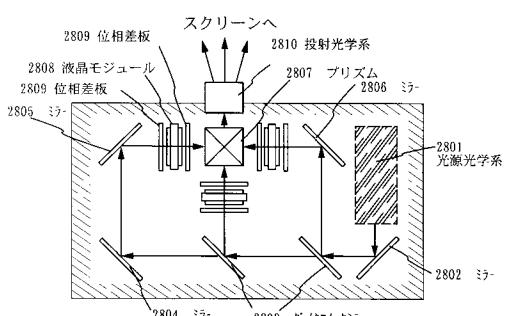
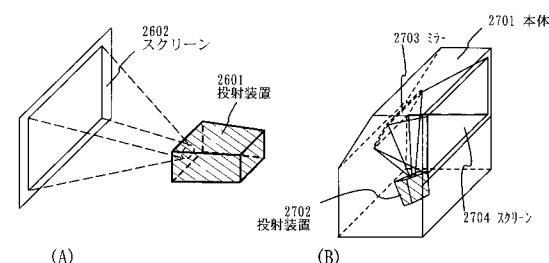
【図13】



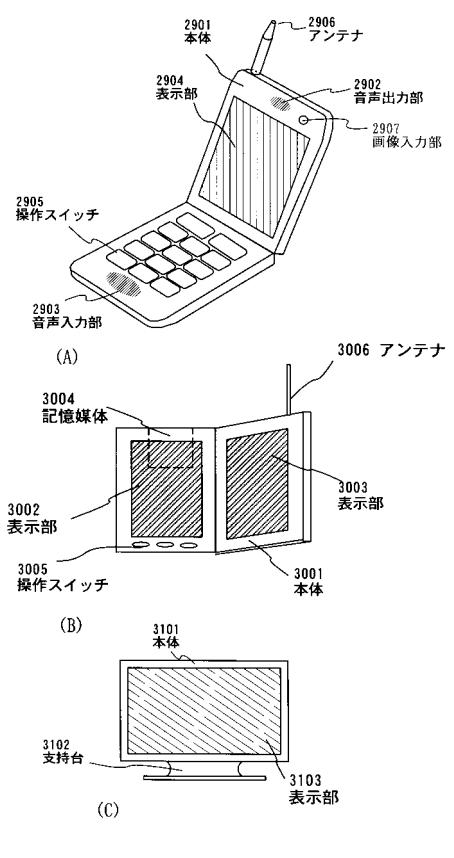
【図14】



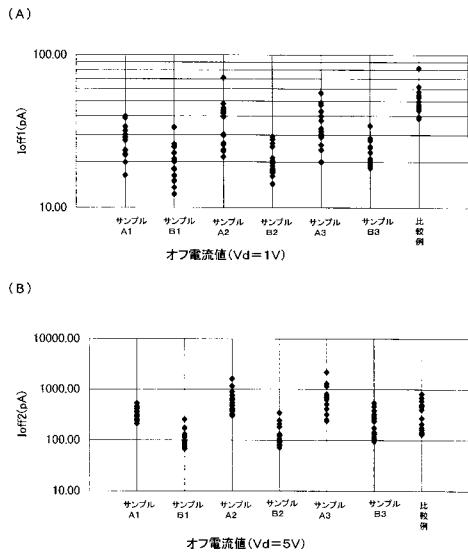
【図15】



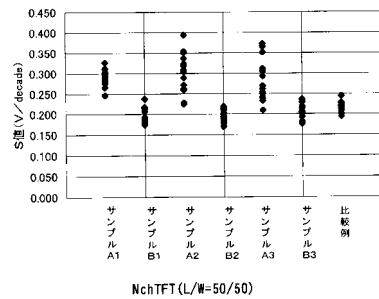
【図16】



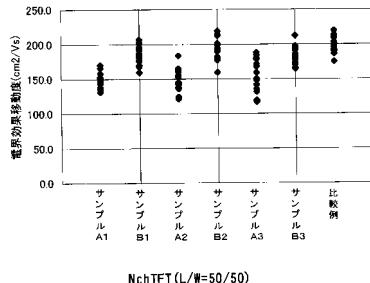
【図17】



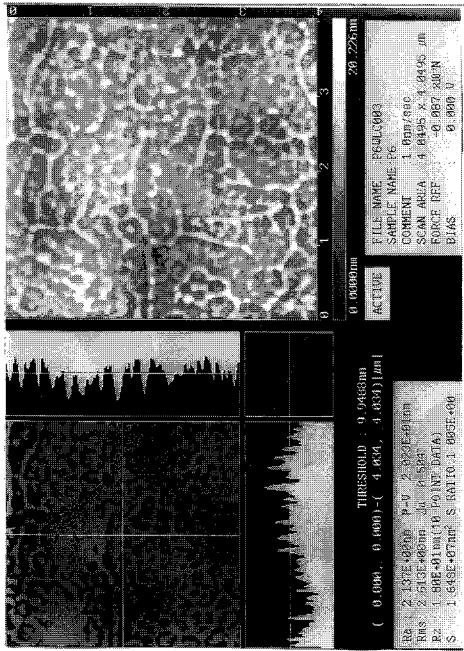
【図18】



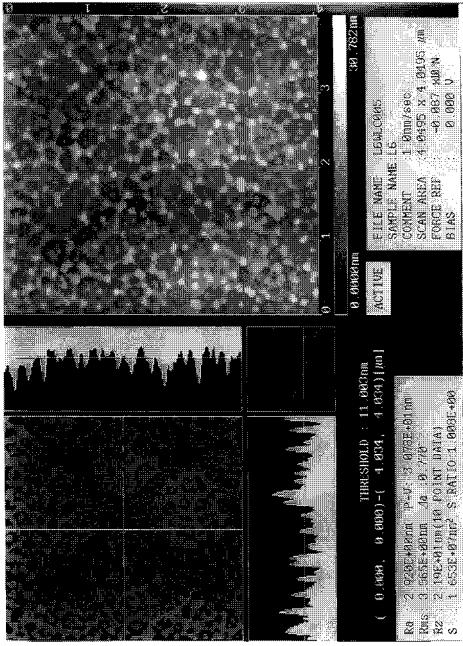
【図19】



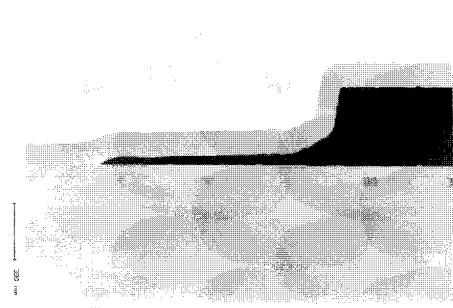
【図20】



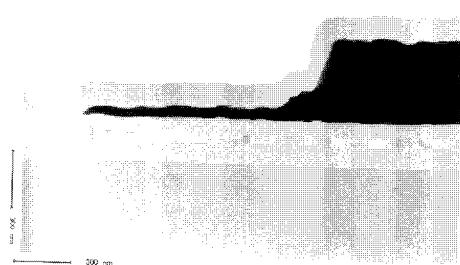
【図21】



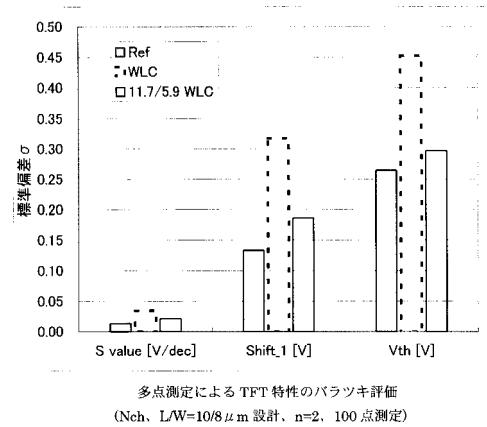
【図22】



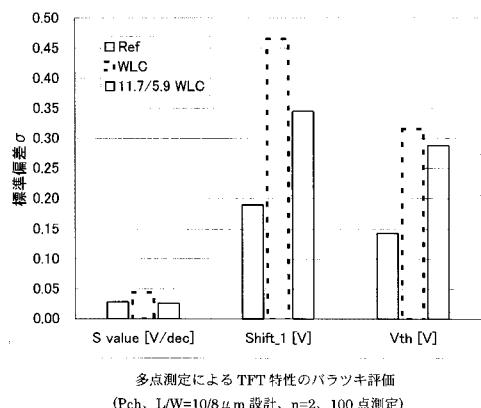
【図23】



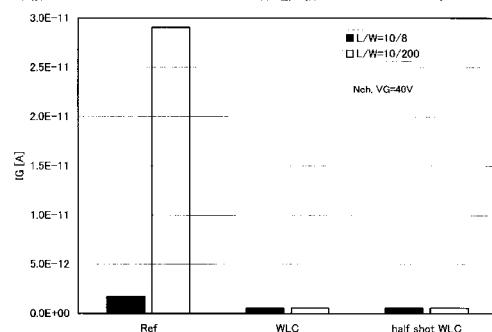
【図24】



【図25】



【図26】



各条件におけるゲートリーコ電流 (Nch、VG=40V)

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平10-106951(JP,A)
特開2001-250777(JP,A)
特開2001-060551(JP,A)
特開平11-031660(JP,A)
特開平09-205213(JP,A)
特開平08-255916(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/20
H01L 21/336
H01L 29/786