

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-294865
(P2005-294865A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005.10.20)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
H O 1 L 29/786	H O 1 L 29/78 6 2 6 C	5 F 1 1 0
	H O 1 L 29/78 6 1 7 T	
	H O 1 L 29/78 6 1 8 B	
	H O 1 L 29/78 6 1 8 F	

審査請求 有 請求項の数 11 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2005-165903 (P2005-165903)	(71) 出願人	000153878 株式会社半導体エネルギー研究所
(22) 出願日	平成17年6月6日(2005.6.6)		神奈川県厚木市長谷398番地
(62) 分割の表示	特願2000-197258 (P2000-197258) の分割	(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
原出願日	平成3年8月26日(1991.8.26)	(72) 発明者	竹村 保彦 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

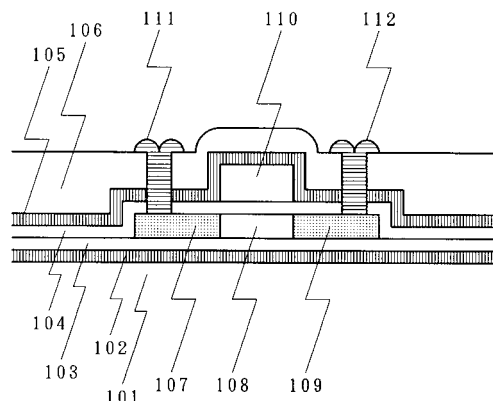
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置

(57) 【要約】

【課題】 可動イオンを含有する絶縁性基板および薄膜トランジスタを用いた半導体装置を提供する。

【解決手段】 可動イオンを含有する絶縁性基板と、薄膜トランジスタの間に窒化珪素膜、ハロゲンを含む酸化珪素膜を形成する。薄膜トランジスタの半導体層はハロゲンを含む酸化珪素膜上に形成される。また、薄膜トランジスタの半導体膜、ゲート絶縁膜のいずれ一方にハロゲン元素を含有させることにより、基板やその他外部からの可動イオンの侵入を阻止する。これにより、絶縁性基板に含まれる可動イオンの影響をなくすることができる。



【選択図】 図1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

可動イオンを含有する絶縁性基板と、
前記絶縁性基板に接して形成された窒化珪素膜と、
前記窒化珪素膜上に接して形成されたハロゲン元素を含む酸化珪素膜と、
前記酸化珪素膜上に接して形成された半導体膜と、
前記半導体膜上に接して形成されたハロゲン元素を含むゲイト絶縁膜と、
前記ゲイト絶縁膜上に形成されたゲイト電極と、
を有し、
前記半導体膜には、チャンネル形成領域、ソース領域およびドレイン領域が設けられている
ことを特徴とする半導体装置。 10

【請求項 2】

可動イオンを含有する絶縁性基板と、
前記絶縁性基板に接して形成された窒化珪素膜と、
前記窒化珪素膜上に接して形成されたハロゲン元素を含む酸化珪素膜と、
前記酸化珪素膜上に接して形成された半導体膜と、
前記半導体膜上に接して形成されたハロゲン元素を含むゲイト絶縁膜と、
前記ゲイト絶縁膜上に形成されたゲイト電極と、
を有し、
前記半導体膜には、チャンネル形成領域、ソース領域、ドレイン領域および L D D 領域が設
けられていることを特徴とする半導体装置。 20

【請求項 3】

可動イオンを含有する絶縁性基板と、
前記絶縁性基板に接して形成された窒化珪素膜と、
前記窒化珪素膜上に接して形成されたハロゲン元素を含む第 1 の酸化珪素膜と、
前記第 1 の酸化珪素膜上に接して形成されたハロゲン元素を含む半導体膜と、
前記半導体膜上に接して形成されたハロゲン元素を含む第 2 の酸化珪素膜と、
前記第 2 の酸化珪素膜を介して、前記半導体膜上に形成されたゲイト電極と、
を有し、
前記半導体膜には、チャンネル形成領域、ソース領域およびドレイン領域が設けられている
ことを特徴とする半導体装置。 30

【請求項 4】

可動イオンを含有する絶縁性基板と、
前記絶縁性基板に接して形成された窒化珪素膜と、
前記窒化珪素膜上に接して形成されたハロゲン元素を含む第 1 の酸化珪素膜と、
前記第 1 の酸化珪素膜上に接して形成されたハロゲン元素を含む半導体膜と、
前記半導体膜上に接して形成された第 2 のハロゲン元素を含む酸化珪素膜と、
前記第 2 の酸化珪素膜を介して、前記半導体膜上に形成されたゲイト電極と、
を有し、
前記半導体膜には、チャンネル形成領域、ソース領域、ドレイン領域および L D D 領域が設
けられていることを特徴とする半導体装置。 40

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項において、前記半導体膜は、前記ハロゲン元素の濃度が $1 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{20}$ 個 / cm^3 であることを特徴とする半導体装置。
半導体装置。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項において、前記ハロゲン元素は塩素であることを特徴とす
る半導体装置。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項において、前記ハロゲン元素は弗素であることを特徴とす 50

る半導体装置。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項において、前記半導体膜は、アモルファス、多結晶または単結晶の半導体であることを特徴とする半導体装置。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項において、前記半導体膜は、シリコン、ゲルマニウム、またはシリコンとゲルマニウムの合金であることを特徴とする半導体装置。

【請求項 10】

請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項において、前記窒化珪素膜は、化学式 SiN_x ($1.0 < x < 1.7$) で示されることを特徴とする半導体装置。

10

【請求項 11】

請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項において、前記窒化珪素膜は、膜厚が $50 \sim 1000 \text{ nm}$ であることを特徴とする半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、信頼性および量産性に優れ、歩留りの高い、薄膜トランジスタ等の薄膜状半導体装置およびその製造方法に関する。本発明は、その応用分野として、例えば、液晶ディスプレイや薄膜イメージセンサー等の駆動回路あるいは 3 次元集積回路等を構成せんとするものである。

20

【背景技術】

【0002】

従来、半導体集積回路は、シリコン等の半導体基板上に形成されたモノリシック型が中心であったが、近年、ガラスやサファイヤ等の絶縁基板上に形成することが試みられている。その理由としては、基板と配線間の寄生容量が低下して動作速度が向上することと、特に石英その等のガラス材料は、シリコンウェファーのような大きさの制限がなく、安価であること、素子間の分離が容易で、特に CMOS のモノリシック集積回路で問題となるようなラッチアップ現象がおこらないこと等のためである。また、以上のような理由とは別に液晶ディスプレイや密着型イメージセンサーにおいては、半導体素子と液晶素子あるいは光検出素子とを一体化して構成する必要から、透明な基板上に薄膜トランジスタ (TFT) 等を形成する必要がある。

30

【0003】

このような理由から絶縁性基板上に薄膜状の半導体素子が形成されるようになった。従来の薄膜状半導体素子の例として、TFT を図 5 に示す。図に示されるように、絶縁性基板 501 上に、パッシベーション膜として、酸化珪素等の被膜 503 が形成され、その上に TFT が他の TFT とは独立して形成される。TFT は、モノリシック集積回路の MOSFET と同様に、ソース (ドレイン) 領域 507 とドレイン (ソース) 領域 509、それらに挟まれたチャネル形成領域 (単にチャネル領域ともいう) 508、ゲイト絶縁膜 504、ゲイト電極 510、そして、ソース (ドレイン) 電極 511 とドレイン (ソース) 電極 512 を有している。また、多層配線が可能なように PSG 等の層間絶縁物 506 が設けられる。

40

【0004】

図 5 の例は、順コプラナー型と呼ばれるものであるが、TFT では、ゲイト電極とチャネル領域の配置の様子によって、これ以外に逆コプラナー型、順スタガー型、逆スタガー型とよばれる形態があるが、その詳細については他の文献に任せるとして、ここではこれ以上、言及しない。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

モノリシック集積回路においても、ナトリウムやカリウムのようなアルカリイオン、あ

50

るいは鉄、銅、ニッケル等の遷移金属イオンによる汚染は深刻な問題であり、これらのイオンの侵入を食い止めるために、非常な注意が払われてきた。TFTでも、それらのイオンの問題は同様に重大なもので、極力、汚染がないように生産工程の清浄化には注意が向けられている。また、素子にもこれらの汚染が及ばないように対策が講じられている。

【0006】

薄膜状半導体素子がモノリシック集積回路と異なることは、基板中の汚染イオンの濃度が比較的高いということである。すなわち、モノリシック集積回路に使用される単結晶シリコンは、長年の技術の蓄積によって、これらの有害な汚染元素を排除するようにして生産されており、現在市販されているものでは、これらの汚染元素は 10^{10} cm^{-3} 以下である。

10

【0007】

しかしながら、一般に薄膜状半導体素子用の絶縁性基板の汚染元素濃度は低くない。もちろん、スピネル基板やサファイヤ基板のような単結晶基板では、上記汚染源となる異元素の濃度を低減することが理論的には可能であるが、採算面から現実的ではない。また、石英基板は、高純度シランガスと酸素を原料として、気相反応で製造すれば、理想的には異元素の侵入を食い止めることが可能であるが、構造がアモルファスであるので、いったん異元素が取り込まれた場合にこれを外部に吐き出すことが困難である。また、液晶ディスプレイに使用される基板は特にコストの問題が優先するため、価格の低いものを用いる必要があり、そのようなものでは製造・加工を容易にするため、最初から、各種の異元素を含有している。これらの異元素自体が半導体素子にとって好ましくないものもあるし、これらの異元素を添加する過程で、外部から混入し、あるいは添加材料に不純物として含まれる場合がある。

20

【0008】

例えば、TNガラスは安価なガラス基板で耐熱性がよく、熱膨張率等がシリコンに近いため、液晶ディスプレイ用の基板として好ましいものであるが、リチウムを5%程度含有している。このリチウムの一部はイオン化し、可動イオンとして半導体素子に侵入し、素子の劣化をもたらす。また、このリチウムは99%以上の高純度のものを製造することが難しく、通常、0.7%程度のナトリウムが含まれている。ナトリウムのイオン化率は10%程度で、極めて大きく、このナトリウムイオンは素子の特性に極めて深刻な影響をもたらす。

30

【0009】

従来の薄膜状半導体素子では、図5に示すように、この可動イオンの侵入に対しては、酸化珪素等をバッシベーション膜として使用し、また、層間絶縁物をPSGやBPSGとすることによってこれらの可動イオンをゲッタリングすることによって対処されてきた。しかしながら、これらの方法では汚染を十分に防ぐことは困難であった。本発明は、これらの汚染元素・イオンを侵入によって素子が劣化することを抑制することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明では、以上のような汚染を抑制するために薄膜半導体素子の下部と上部にそれぞれ窒化珪素、酸化アルミニウム、酸化タンタル等の可動イオンに対するブロッキング作用を有する膜（ブロッキング膜）を形成し、さらに、TFTを構成する半導体被膜（チャネル領域）あるいはゲイト絶縁被膜のいずれか一方、あるいは双方に、塩素、弗素等のハロゲン元素を $1 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{20} \text{ 個/cm}^3$ 、好ましくは $1 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{20} \text{ 個/cm}^3$ 含有させたことを特徴とする。ハロゲン元素は半導体被膜中あるいは絶縁被膜中において、ナトリウム等の可動イオンと強く結合し、その効果を著しく低下せしめる作用を有する。

40

【発明の効果】

【0011】

本発明によって、ナトリウム等の可動イオンの影響の少ないTFT等の薄膜状半導体素子を作製することができる。従来、可動イオンが存在するため素子が形成できなかった基

50

板においても、TFTを形成することが可能となった。本発明を実施するには、図1ないし図4のようにコプラナ型であっても、また、逆コプラナ型やスタガ型、逆スタガ型のTFTを用いても構わない。また、本発明は、薄膜状半導体素子の動作について制約を加えるものではないので、トランジスタのシリコンはアモルファスであっても、多結晶であっても、微結晶であっても、またそれらの中間状態のものであっても、さらには単結晶であっても構わないことは明らかであろう。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

本発明の典型的な例は図1に示される。図1では本発明を用いたTFTが示されている。すなわち、絶縁性基板101上に第1のブロッキング膜として第1の窒化珪素膜102が形成されている。第1の窒化珪素皮膜は基板からの汚染を防ぐ効果を有する。そして、第1の窒化珪素膜上に、例えば酸化珪素のようなシリコン材料と密着性のよい皮膜103を形成する。この皮膜103を形成せずして、直接、半導体皮膜を第1の窒化珪素上に形成し、TFTを作製すると、窒化珪素と半導体材料の界面に生ずるトラップ準位によってチャンネル領域が導通化し、TFTが動作しなくなる。したがって、このような緩衝体を設けることは重要である。

10

【0013】

皮膜103上にはTFTが形成される。TFTは、ソース(ドレイン)領域107とドレイン(ソース)領域109、それらに挟まれたチャンネル領域108、ゲイト絶縁膜104、ゲイト電極110を有する。TFTのソース、ドレイン、チャンネル各領域は単結晶もしくは多結晶、あるいはアモルファスの半導体材料で形成される。半導体材料としては、例えば、シリコン、ゲルマニウム、炭化珪素、およびこれらの合金が使用されうる。

20

【0014】

そして、このTFTを覆って、第2のブロッキング膜として第2の窒化珪素皮膜105が形成される。ここで、第2の窒化珪素皮膜が、TFTの作製の後で、かつ、ソースおよび/またはドレインに電極が形成される前に形成されることが本発明の特徴とするところである。従来技術では、電極形成後にファイナルパッシベーション膜としての窒化珪素膜が形成されたが、本発明はそのような意味で形成される窒化珪素膜とは目的が異なる。すなわち、本発明における第2の窒化珪素膜は、第1の窒化珪素膜とともにTFTを包み込んでしまうために形成されるのであり、TFT形成後の電極形成の工程での汚染をも防ぐことを意図するものである。したがって、本発明によってTFTとそれに付随する電極や配線を形成した後、従来のようにファイナルパッシベーション膜として窒化珪素膜を形成してもよい。

30

【0015】

さて、第2の窒化珪素膜形成後に、層間絶縁材料、例えばPSG等によって、層間絶縁膜106を形成し、ソース(ドレイン)電極111とドレイン(ソース)電極112を形成する。ブロッキング膜としては、窒化珪素以外に、酸化アルミニウムや酸化タンタルを用いてもよいことは先に述べたとおりである。

【0016】

図1の例では、しかしながら、ゲイト絶縁膜が遠方に延びており、その端部から可動イオン等がTFT内部に侵入する可能性がある。これを改良したものが、図2に示される例で、ゲイト絶縁膜はTFT上にしかないので、図1のような問題はない。しかしながら、この場合はチャンネル領域に隣接した部分のソース領域およびドレイン領域が窒化珪素膜に接触しているため、この部分の窒化珪素がゲイト電圧によって分極し、あるいは電子をトラップして、TFTの動作を妨げることがある。

40

【0017】

その問題を克服した例が図3に示される。ここでは、チャンネル領域に隣接したソース領域およびドレイン領域は窒化珪素膜に隣接していない。したがって、窒化珪素の分極や電子トラップという困難は解決される。しかしながら、ソースおよびドレイン領域の形成にあたって、ゲイト電極をマスクとするセルフアラインプロセスを採用する場合には、この

50

例では図1の例と同様に、ゲイト絶縁膜を通して、アクセプターあるいはドナー元素を注入しなければならず、そのためイオン注入法を採用するのであれば、イオンの加速エネルギーを高める必要がある。その際、高速イオンが注入される結果、その2次散乱によってソースおよびドレイン領域が広がることがある。

【0018】

図2において、201は絶縁性基板、202は第1の窒化珪素膜、203は酸化珪素等の緩衝用絶縁膜、204はゲイト絶縁膜、205は第2の窒化珪素膜、206は層間絶縁膜、207はソース(ドレイン)領域、208はチャンネル領域、209はドレイン(ソース)領域、210はゲイト電極、211はソース(ドレイン)電極、212はドレイン(ソース)電極である。また、図3において、301は絶縁性基板、302は第1の窒化珪素膜、303は酸化珪素等の緩衝用絶縁膜、304はゲイト絶縁膜、305は第2の窒化珪素膜、306は層間絶縁膜、307はソース(ドレイン)領域、308はチャンネル領域、309はドレイン(ソース)領域、310はゲイト電極、311はソース(ドレイン)電極、312はドレイン(ソース)電極である。

10

【0019】

本発明において、プロッキング膜として窒化珪素膜を使用する場合、化学式で SiN_x で表したとき、 $x = 1.0$ から $x = 1.7$ が適し、特に、 $x = 1.3$ から $x = 1.35$ の化学量論的組成($x = 1.33$)のもの、あるいはそれに近いのものでよい結果が得られた。したがって、本発明では、窒化珪素は減圧CVD法によって形成する方が良かった。しかしながら、プラズマCVD法や光CVD法で形成された窒化珪素皮膜であっても、本発明を使用しない場合に比べて素子の信頼性が向上することは言うまでもない。

20

【0020】

減圧CVD法によって、窒化珪素膜を形成しようとするれば、原料ガスとしてジクロロシラン($SiCl_2H_2$)とアンモニア(NH_3)を用い、圧力 $10 \sim 1000 Pa$ で $500 \sim 800$ 、好ましくは $550 \sim 750$ で反応させればよい。もちろん、シラン(SiH_4)やテトラクロロシラン($SiCl_4$)を用いてもよい。

【0021】

また、本発明において、酸化アルミニウム膜や酸化タンタル膜を用いる場合においても、化学量論的組成、 Al_2O_3 や Ta_2O_5 に近い組成のものほどよい結果が得られた。これらの被膜はCVD法やスパッタ法によって形成される。例えば、酸化アルミニウム膜は、トリメチルアルミニウム $Al(CH_3)_3$ を酸化窒素(N_2O 、 NO 、 NO_2)によって酸化させればよい。

30

【0022】

本発明をより効果的に実施せんとすれば、TFET等の薄膜状半導体素子の半導体被膜中の水素原子の濃度は、添加されるハロゲン原子の濃度の4倍以下、好ましくは1倍以下であることが望まれ、また、炭素、窒素、酸素等の有害元素の濃度は $7 \times 10^{19} cm^{-3}$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{19} cm^{-3}$ 以下であることが望まれる。さらに、半導体被膜中に含まれるナトリウム、リチウム、カリウム等の可動イオンについても、その濃度は $5 \times 10^{18} cm^{-3}$ 以下であることが望まれる。以上のような目的を達成するためにも、原料ガスには十分な注意を払い、5N以上の高純度ガスを使用することが望まれる。さらに、本発明では可動イオン源を多く含有する絶縁性基板を用いることを念頭に置いているが、より本発明を効果的に実施せんとすれば、そのような基板において、第1の窒化珪素膜を形成する際に、基板の周囲をもれなく窒化珪素膜で覆ってしまうとよい。そのような状態では、以後の取扱において、基板を源泉とする可動イオンが素子領域に混入する確率を著しく低下せしめることができる。

40

【0023】

図4には、本発明を使用して、公知の技術である低不純物濃度ドレイン(LDD)を形成する例を示した。まず、石英あるいはANガラス等の絶縁性基板401上に減圧CVD法によって窒化珪素膜402を厚さ $50 \sim 1000 nm$ 形成する。このときには、先に述べたように、基板の裏面も窒化珪素膜で覆ってしまうと、後の工程において、裏面から発

50

生した可動イオンが表面に到達する確率が著しく低くなり、また、製造装置の清浄度を保つうえでも好ましい。窒化珪素膜の上に緩衝用の酸化珪素皮膜403を同じく減圧CVD法によって、厚さ50~1000nm形成する。この際、原料ガス中に体積比で3%から6%、例えば5%ほどの塩化水素(HCl)、弗化窒素(NF₃あるいはN₂F₄)、塩素(Cl₂)、弗素(F₂)、各種フロンガス、四塩化炭素(CCl₄)等のハロゲンを含むガスを混入させておくと、得られる酸化珪素膜中に塩素、弗素等のハロゲン元素が取り込まれる。

【0024】

このハロゲンはナトリウム等のアルカリイオンと結合して、ナトリウムを固定するので、ナトリウム汚染を防ぐうえでより大きな効果が得られる。しかし、過剰なハロゲンの添加は膜を粗にし、密着性や表面の平坦性を損なうので好ましくない。また、減圧CVD法のかわりに光CVD法やプラズマCVD法によって該被膜を形成する場合にも、原料ガス中に上記のハロゲン元素を有するガスを、2~5体積%混入するとよい。さらに、スパッタ法によって該被膜を形成する場合には、上記ハロゲンガスをスパッタ雰囲気中に、2~20体積%混入するとよい。スパッタ法による場合には、雰囲気中のガス組成は被膜の組成に反映されにくいので、CVD法の場合よりやや濃度を多くする必要がある。

10

【0025】

次に非晶質シリコン膜あるいは微結晶または多結晶シリコン膜を減圧CVD法、あるいはプラズマCVD法、あるいはスパッタ法によって厚さ20~500nmだけ形成する。そして、これを島上にエッチングする。このシリコン膜を形成する際にも、先に被膜403を形成する場合と同様にハロゲン元素を被膜中に導入するとよい。ハロゲン元素の導入の方法は先の被膜403の場合と同様に被膜形成時の雰囲気中にハロゲンを含有するガスを混入させてもよいし、また、被膜形成後、イオン注入法によって導入してもよい。このとき、ハロゲン元素の被膜中での濃度は、 $1 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{20}$ 個/cm³、好ましくは $1 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{20}$ 個/cm³となるように原料ガスの濃度を制御しなければならない。

20

【0026】

さらにまた、同時に被膜中の水素原子の濃度は、このハロゲンの濃度の4倍以下、好ましくは1倍以下であると、ハロゲン添加の効果がより向上する。この効果は以下のように説明される。水素原子は、シリコンのダングリングボンドをターミネイトする上で必要であるが、その結合は弱く、簡単に結合が切れてしまう。一方、ハロゲン元素はシリコンと強く結合する。もし、シリコン中に水素が過剰に存在する場合には(それは被膜中にダングリングボンドが多いということでもあるが)、ほとんどのハロゲンはシリコンと結合し、その結果、被膜中を移動する可動イオンをゲッターリングすることができない。したがって、水素濃度の大きいシリコン中では、ハロゲン添加の効果が小さく、水素濃度の小さいシリコン中では、ハロゲン添加の効果が大きいものと推測される。

30

【0027】

また、シリコン等の半導体被膜では、可動イオン以外の有害元素として、炭素、窒素、酸素の濃度がいずれも 7×10^{19} 個/cm³以下、好ましくは 1×10^{19} 個/cm³以下であることが望まれる。これらの元素はハロゲン添加によっても除去されないものであるからである。

40

【0028】

さらに、ハロゲン添加によってナトリウムやリチウム、カリウム等の可動イオンがゲッターリングできるとはいえ、過剰に存在する場合にはその効果も打ち消されてしまうので、これら可動イオンの濃度は、いずれも 5×10^{18} 個/cm³以下であることが望まれる。

【0029】

さて、このようにして形成されたシリコン被膜上に、ゲイト絶縁膜として、厚さ10~200nmの酸化珪素膜を減圧CVD法、あるいはスパッタ法によって形成する。この際も、先のように、原料ガス中、あるいはスパッタガス中にハロゲン材料ガスを混入させて

50

おくとよい。

【0030】

そして、その上に減圧CVD法、あるいはプラズマCVD法によって、リンが 10^{21} cm^{-3} 程度にドーパされた多結晶あるいは微結晶シリコン膜を形成する。そして、このシリコン膜およびその下のゲイト絶縁膜（酸化珪素）をパターンニングし、ゲイト電極410とゲイト絶縁膜404を形成する。

【0031】

さらに、このゲイト電極をマスクとしてセルフアライン的にイオン注入をおこない、比較的不純物濃度の小さい（ $10^{17} \sim 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度）ソース（ドレイン）領域407、ドレイン（ソース）領域408を形成する。不純物の注入されなかった部分がチャンネル領域408として残る。こうして、図4（A）が得られる。

10

【0032】

次に、図4（B）に示すように減圧CVD法によって、全体にPSG膜413が形成される。そして、これを公知の方向性エッチングによってエッチングし、ゲイト電極の横に側壁414を形成する。その後、再び、イオン注入をおこない、不純物濃度の高いソース（ドレイン）領域407aとドレイン（ソース）領域409aを形成する。不純物濃度の低い領域はソース（ドレイン）領域407bとドレイン（ソース）領域409bとなって、LDDを形成する。こうして、図4（C）を得る。

【0033】

その後、図4（D）に示すように、減圧CVD法によって、全体に窒化珪素膜405を、厚さ50～1000nm形成する。その後、例えば、600程度の低温アニールによってシリコン膜の結晶化をおこない、ソース、ドレイン領域の活性化をおこなう。この工程はレーザーアニールでおこなってもよい。このようにして、TFTの中間体が得られる。

20

【0034】

図4の例は、本発明の例を示したに過ぎず、本発明が、上記の工程に制約されないことは明らかであろう。図4の例では、図3の例と同様に、窒化珪素膜とゲイト電極とソースあるいはドレイン領域が隣接する部分がない。すなわち、図2の場合とは違って、側壁414が存在するため、図2で懸念されたような問題はない。さらに、図3とは異なって、ドナーやアクセプターの添加は絶縁膜を通さず容易におこなえるという特徴を有する。

30

【実施例】

【0035】

本発明を用いたTFTの特性について記述する。本実施例で使用したTFTは石英ガラス基板上に図4のプロセスに従って作製したLDD型TFTである。まず、石英ガラス基板401上および、その基板の裏面に減圧CVD法によって窒化珪素膜402を厚さ1000nm形成し、さらに、連続的に減圧CVD法によって酸化珪素膜（低温酸化膜（LTO膜）ともいう）403を厚さ200nm形成し、最後に、やはり減圧CVD法によって非晶質シリコン膜を厚さ30nm形成した。このときの最高プロセス温度は600であった。そして、以上の工程では、連続的に配置された3つの反応室よりなるCVD装置において成膜されたが、酸化珪素膜と非晶質シリコン膜の成膜の際には、材料ガス以外にハロゲン添加ガスとして塩化水素ガス（HCl）を5体積%添加して反応させた。その結果、酸化珪素膜と非晶質シリコン膜の中に塩素を添加することができた。2次イオン質量分析法による分析では、酸化珪素膜中および非晶質シリコン膜中の塩素の濃度は、それぞれ、 $2.3 \times 10^{19} \text{ 個/cm}^3$ 、 $3.1 \times 10^{19} \text{ 個/cm}^3$ であった。なお、窒化珪素膜の原料ガスとしては、ジクロールシラン（ SiCl_2H_2 ）とアンモニア（ NH_3 ）、酸化珪素膜の原料ガスとしては、ジシラン（ Si_2H_6 ）と酸素（ O_2 ）と塩化水素、非晶質シリコン膜の原料ガスとしては、ジシランと塩化水素をそれぞれ用いた。純度はいずれも6Nのものを用いた。このようにして得られた酸化珪素膜と非晶質シリコン膜中の水素原子の量は、いずれも $1 \times 10^{19} \text{ 個/cm}^3$ 以下であることが確認された。また、成膜は大気に触れることなく連続的におこなったため、シリコン膜においては、炭素、窒素、酸素の

40

50

濃度は 1×10^{18} 個 / cm^3 以下であることが確認された。

【0036】

次に、非晶質シリコン膜を島状にパターニングした。そして、その非晶質シリコン膜の表面のごく薄い部分、厚さ $2 \sim 10 \text{ nm}$ を陽極酸化法によって酸化した。陽極酸化は KNO_2 を添加した N メチルアセトアミド (NMA) あるいはテトラヒドロフルフリルアルコール (THF) を電解液とし、白金電極をカソードとして、 $10 \sim 50$ で定電圧法によっておこなった。陽極酸化終了後、アルゴン雰囲気中 600 で 12 時間アニールした。その後、スパッタ法によって酸化珪素膜を 100 nm 形成した。ここで、スパッタ雰囲気は酸素とアルゴンもしくは他の希ガスと塩化水素の混合気体とし、かつ、酸素の分圧を 80% 以上とした。塩化水素ガスの濃度は 10% とした。スパッタ成膜においては、スパッタ衝撃によって、下地の膜に欠陥が生じる。例えば、下地がシリコン膜であった場合には、シリコン中に酸素原子が打ち込まれ、酸素の濃度が増加する。このような状態ではシリコンは極在準位の多いものになってしまう。すなわち、シリコンと酸化珪素の境界がはっきりしないものになってしまう。しかし、本実施例のように予め薄い陽極酸化膜を形成しておけば、スパッタの際には既に酸化珪素が存在しているため、上記のような原子の混合が避けられ、シリコン膜と酸化珪素膜の境界は保たれる。

10

【0037】

この酸化珪素膜の形成後、減圧 CVD 法によって、リンを 10^{21} cm^{-3} 程度含んだ n^+ 型の微結晶珪素膜を厚さ 300 nm 形成した。以上の被膜形成の最高プロセス温度は 650 であった。その後、ゲート電極のパターニングをおこないゲート電極 410 とゲート絶縁膜 404 を形成した。さらに、イオン打ち込みによって砒素イオンを $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ だけ注入し、ソースおよびドレイン領域 407 、 409 を形成した。こうして、図 4 (A) を得た。

20

【0038】

次いで、図 4 (B) のように減圧 CVD 法によって PSG 膜 413 を形成し、方向性エッチングによって、図 4 (C) に示される側壁 414 を形成した。さらに、イオン打ち込み法によって砒素イオンを領域 $407a$ および $409a$ に $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 注入した。

【0039】

その後、全体に窒化珪素膜 405 を減圧 CVD 法によって形成した。こうして、図 4 (D) を得た。その後、真空中 620 で 48 時間アニールして、領域 $407a$ 、 $407b$ 、 408 、 $409a$ 、 $409b$ を活性化させた。そして、減圧 CVD 法によって層間絶縁物として、全体に PSG 膜を形成し、電極用の穴を開け、アルミ電極をソース領域およびドレイン領域に形成した。そして、最後に、パッシベーションの目的で全体に再び、減圧 CVD 法によって窒化珪素膜を形成した。

30

【0040】

このようにして形成された TFT は極めて信頼性の高いものであった。いわゆるバイアス - 温度処理 (BT 処理) によっても素子の動作特性が変化しないことが示された。 BT 処理とは、加温状態でソース、ドレイン間とゲート電極に電圧を加える処理のことで、正常な素子であれば何ら問題が生じないが、例えば可動イオンが含まれているような素子では、特性の変化が見られる。その様子を図 6 に示す。

40

【0041】

図 6 (A) には、可動イオンがゲート絶縁膜中とチャネル領域に存在する TFT が示されている。チャネル領域にアルカリの可動イオン (図中に A^+ と示される) が存在し、アルカリイオンはドナーとなるので、チャネル領域は弱い N 型 (N^- 型) となる。この状態を状態 1 とする。この TFT のゲート電極とソース、ドレイン間に、図 6 (B) に示すように正のバイアス電圧を加えると、まず、チャネル領域の可動イオン (正イオン) がゲート電極から遠ざかり、チャネル領域は真性化 (I 型化) する。この状態を状態 2 とする。この結果、 TFT の I_D (ドレイン電流) - V_G (ゲート電圧) 特性は、図 6 (D) に示すように、右側に大きく移動する。

50

【0042】

しかしながら、ゲイト絶縁膜にも可動イオンが存在する場合には、ゲイト電極にかかるバイアス電圧のために、可動イオンがゲイト電極の下部（チャンネル領域側）に集まり、結果として、チャンネル領域は正の電界を感じるようになる。そのため、チャンネル領域には電子があつまり、再び、弱くN型化する。この状態を状態3とすると、図6（E）に示されるように、状態2から状態3へ $I_D - V_G$ 特性曲線は左へ移動する。結局、バイアス電圧によって、TFETの特性は最初のものに比べて右に移動したものとなる。

【0043】

また、逆に負のバイアスを行った場合にはチャンネル領域に可動イオンが集まり、その結果、チャンネル領域のN型化が進行し、ゲイト電圧によってドレイン電流を制御できない状態となる。

【0044】

本実施例では、具体的には、作製後直ちに室温でTFETのゲイト電圧 - ドレイン電流特性を測定し（ $V_B = 0$ ）、その後、150 で1時間、ゲイト電極に+20Vの電圧を加え、室温でTFETのゲイト電圧 - ドレイン電流特性を測定し（ $V_B = +20V$ ）、次に、再び、150 で1時間、ゲイト電極に今度は-20Vの電圧を加え、その後、室温でTFETのゲイト電圧 - ドレイン電流特性を測定し（ $V_B = -20V$ ）、TFETのしきい値電圧の変動を調べた。

【0045】

図7（B）が以上に記載した方法によって作製したTFETの特性である。このように、バイアス電圧 V_B に全く特性が影響されず、精密な測定の結果、しきい値電圧の変動は0.2V以下であった。

【0046】

一方、図7（A）に示されるものは、窒化珪素膜402と405を設けず、かつ、TFETのいずれの皮膜のハロゲンの濃度も $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 以下としたもので、それらの点以外は本実施例に示した方法と全く同じプロセスで作製したものであるが、図から明らかのように特性が V_B に大きく依存してしまっている。図7（B）のしきい値電圧の変動幅から本実施例で作製したTFETのゲイト電極中の可動イオンの量は $8 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 程度であると推定される。以上の測定後、本実施例で製作したTFETのシリコン膜（チャンネル領域）とゲイト絶縁膜中のナトリウム、カリウム、リチウムの濃度を調べたところ、それぞれ、 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $7 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ であった。このようになり多量のアルカリ元素が存在していたにも関わらず、可動イオンの量が少ないのは、ハロゲン（この場合は塩素）によって、固定化されてしまったためであろうと推測される。対比のために作製したTFETでは、ナトリウム、カリウム、リチウムの濃度を調べたところ、それぞれ、 $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ というように多量に含まれていた。このことから、本発明の窒化珪素膜によるブロッキングの効果も推測される。すなわち、本発明のように窒化珪素膜を設け、かつ、ハロゲン元素をTFET（この場合はチャンネル領域を含むシリコン膜とゲイト絶縁膜）中に添加することによって、TFETの特性を著しく改善し、信頼性を向上せしめることが可能であることが示された。

【図面の簡単な説明】

【0047】

【図1】本発明によるTFETの例を示す。

【図2】本発明によるTFETの例を示す。

【図3】本発明によるTFETの例を示す。

【図4】本発明によるTFETの作製例を示す。

【図5】従来のTFETの例を示す。

【図6】可動イオンによるTFETの特性への影響を示す。

【図7】本発明を利用したTFETと利用しないTFETの特性を示す。

【符号の説明】

【0048】

10

20

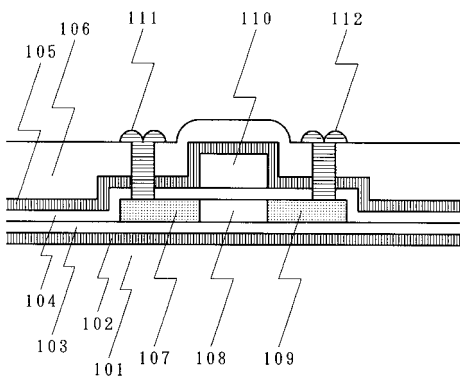
30

40

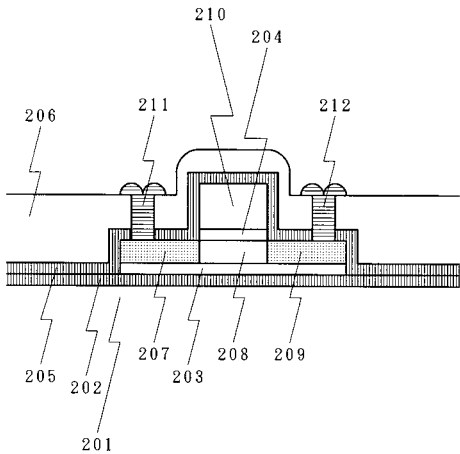
50

- 1 0 1 絶縁性基板
- 1 0 2 第1のブロッキング膜
- 1 0 3 緩衝絶縁膜
- 1 0 4 ゲイト絶縁膜
- 1 0 5 第2のブロッキング膜
- 1 0 6 層間絶縁膜
- 1 0 7 ソース(ドレイン)領域
- 1 0 8 チャネル領域
- 1 0 9 ドレイン(ソース)領域
- 1 1 0 ゲイト電極
- 1 1 1 ソース(ドレイン)電極
- 1 1 2 ドレイン(ソース)電極

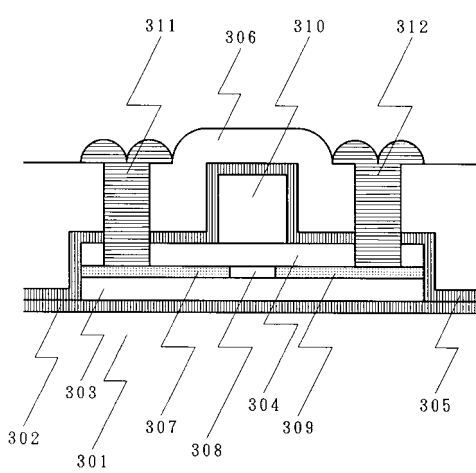
【図1】



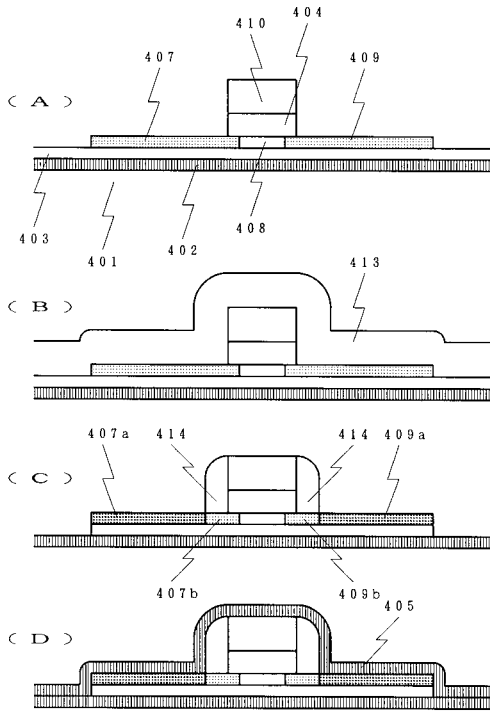
【図2】



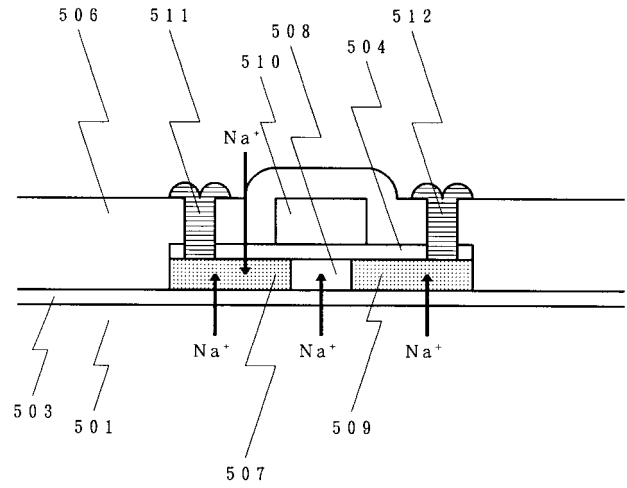
【図3】



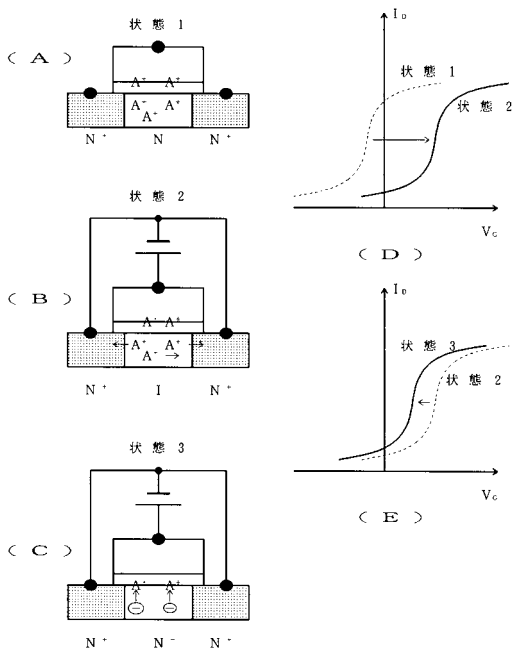
【 図 4 】



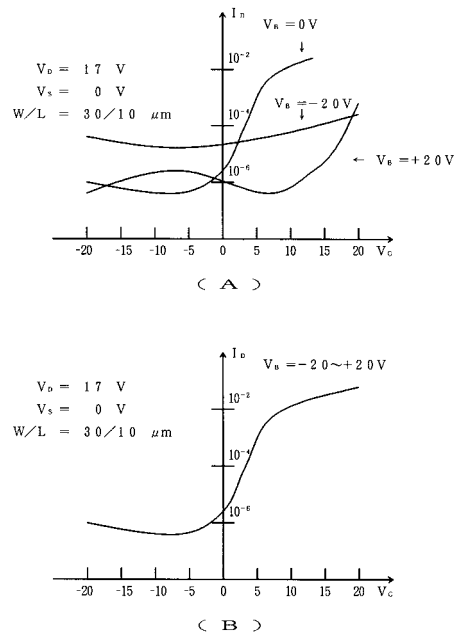
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5F110 AA14 AA30 BB01 BB10 BB11 CC02 DD02 DD03 DD13 DD14
DD18 EE08 EE09 EE32 EE45 FF02 FF07 FF09 FF24 FF28
FF36 GG01 GG02 GG03 GG12 GG13 GG14 GG15 GG25 GG33
GG34 GG43 GG45 GG47 GG52 HJ01 HJ04 HJ13 HJ23 HM15
NN03 NN22 NN24 NN25 NN34 NN35 QQ09 QQ11