

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5809439号
(P5809439)

(45) 発行日 平成27年11月10日(2015.11.10)

(24) 登録日 平成27年9月18日(2015.9.18)

(51) Int.Cl.		F I			
H O 1 L 21/336 (2006.01)		H O 1 L	29/78	6 2 4	
H O 1 L 29/786 (2006.01)		H O 1 L	29/78	6 1 8 B	

請求項の数 5 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2011-99547 (P2011-99547)	(73) 特許権者	000153878
(22) 出願日	平成23年4月27日(2011.4.27)		株式会社半導体エネルギー研究所
(65) 公開番号	特開2011-249787 (P2011-249787A)		神奈川県厚木市長谷398番地
(43) 公開日	平成23年12月8日(2011.12.8)	(72) 発明者	辻 隆博
審査請求日	平成26年2月28日(2014.2.28)		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2010-103909 (P2010-103909)		半導体エネルギー研究所内
(32) 優先日	平成22年4月28日(2010.4.28)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	審査官	岩本 勉

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 トランジスタの測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

酸化物半導体を半導体層に用いたトランジスタを、遮光性を有する測定室に配置し、前記測定室内に、乾燥空気、窒素、又はアルゴンを導入し、
露点 - 1 1 0 以上 - 5 以下の雰囲気下に保持された前記測定室内で、前記トランジスタのゲート電極に所定の電圧を一定時間印加して、しきい値電圧の経時変化を測定するトランジスタの測定方法。

【請求項 2】

酸化物半導体を半導体層に用いたトランジスタを、遮光性を有する測定室に配置し、前記測定室内に、乾燥空気、窒素、又はアルゴンを導入し、
露点 - 1 1 0 以上 - 3 0 以下の雰囲気下に保持された前記測定室内で、前記トランジスタのゲート電極に所定の電圧を一定時間印加して、しきい値電圧の経時変化を測定するトランジスタの測定方法。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 において、
乾燥空気、窒素、又はアルゴンを導入する前に、前記測定室内を真空排気する、トランジスタの測定方法。

【請求項 4】

請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか一項において、
前記測定室が、波長 4 0 0 n m 以下の光に対する遮光性を有する、トランジスタの測定

10

20

方法。

【請求項 5】

酸化物半導体を半導体層に用いたトランジスタを、測定室に配置し、
前記測定室内に、乾燥空気、窒素、又はアルゴンを導入し、
露点 - 110 以上 - 5 以下の雰囲気下に保持された前記測定室内で、
前記トランジスタのしきい値電圧を測定する第 1 のステップと、前記トランジスタのゲート電極に所定の電圧を一定時間印加した後、前記トランジスタのしきい値電圧を測定する第 2 のステップとをこの順で行うトランジスタの測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

酸化物半導体を半導体層に用いたトランジスタを測定する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、半導体特性を示す金属酸化物（以下、酸化物半導体とも記す）が注目されている。半導体特性を示す金属酸化物は、トランジスタに適用することができる。例えば、特許文献 1 乃至 3 には、電子キャリア濃度が $10^{18} / \text{cm}^3$ 未満である非晶質酸化物（酸化物半導体）を半導体層に用いた薄膜トランジスタが開示されている。

【0003】

トランジスタを各種製品に応用するに際して、該トランジスタは高い信頼性を有することが好ましい。そのためには、実使用環境下におけるトランジスタの特性を知る必要がある。

20

【0004】

ところで、トランジスタの特性を知るための試験として、バイアス - 熱ストレス試験（以下、BT 試験とも記す）が知られている。BT 試験の試験条件としては、温度、バイアス条件などが考慮されている（特許文献 4）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2006 - 165527 号公報

30

【特許文献 2】特開 2006 - 165528 号公報

【特許文献 3】特開 2006 - 165529 号公報

【特許文献 4】特開 2001 - 274210 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかし、酸化物半導体を半導体層に用いたトランジスタの場合、従来の測定方法で BT 試験を行うと、作製したトランジスタが備える本来の特性に測定条件の変動が影響し、測定結果に再現性が得られないという問題がある。

【0007】

40

したがって、本発明の一態様は、酸化物半導体を半導体層に用いたトランジスタのバイアス - 熱ストレス試験において、再現性の高い測定方法を提供することを課題とする。特に、トランジスタのゲート電極に負の電位を与えて行うバイアス - 熱ストレス試験において、再現性の高い測定方法を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

バイアス - 熱ストレス試験は、大気中又は電磁シールドされた測定容器内で行われるが、その測定環境が測定結果に与える影響が無視できないことが判明した。測定環境として検討される要素としては、試料をとりまく気体種、湿度、気圧など様々なパラメータがあるが、その中でも湿度（すなわち気体中に含まれる水蒸気）が試験結果に与える影響が顕著

50

であることが判明した。

【0009】

すなわち、BT試験を行う測定容器内の測定容器内の残留水分（水蒸気）を、BT試験に影響の出ない程度にまで極力低減する必要があることが判明した。この場合、測定環境を、露点 - 5 以下（好ましくは - 30 以下、さらに好ましくは - 60 以下）の雰囲気とすることで、測定結果のばらつきを抑制し、再現性の高いトランジスタの測定を行うことが可能となった。

【0010】

本発明の一態様は、酸化物半導体を半導体層に用いたトランジスタを、遮光性を有する測定室に配置し、測定室内に、乾燥空気、窒素、又はアルゴンを導入し、露点 - 110 以上 - 30 以下の雰囲気下に保持された測定室内で、トランジスタのゲート電極に所定の電圧を一定時間印加して、しきい値電圧の経時変化を測定する、トランジスタの測定方法である。

10

【0011】

本発明の一態様は、酸化物半導体を半導体層に用いたトランジスタを、遮光性を有する測定室に配置し、測定室内に、乾燥空気、窒素、又はアルゴンを導入し、露点 - 110 以上 - 60 以下の雰囲気下に保持された測定室内で、トランジスタのゲート電極に所定の電圧を一定時間印加して、しきい値電圧の経時変化を測定するトランジスタの測定方法である。

【0012】

特に、測定室内の露点を - 110 以上 - 60 以下とすることで、より安定してトランジスタ特性を測定することができる。

20

【0013】

上記測定方法において、測定室が波長 400 nm 以下の光を遮光することで、酸化物半導体の励起を防ぎ、乾燥した不活性な気体で測定室内を満たすことで酸化物半導体への水分の影響を防ぐことができる。

【0014】

上記測定方法において、乾燥空気、窒素、又はアルゴンを導入する前に、測定室の内部を真空排気すると、測定室内を所望の雰囲気下（例えば、露点 - 110 以上 - 60 以下の雰囲気下）にするための所要時間を短くすることができるため、好ましい。

30

【発明の効果】

【0015】

本発明の一態様は、酸化物半導体を半導体層に用いたトランジスタのバイアス - 熱ストレス試験において、再現性の高い測定方法を提供することができる。特に、トランジスタのゲート電極に負の電位を与えて行うバイアス - 熱ストレス試験において、再現性の高い測定方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本発明の一態様の測定方法を行う測定装置の一例を示す図。

【図2】本発明の一態様の測定方法で測定するトランジスタの一例を示す図。

40

【図3】本発明の一態様の測定方法で測定するトランジスタの作製方法の一例を示す図。

【図4】実施例に係わる - BT試験の結果を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0017】

実施の形態について、図面を用いて詳細に説明する。但し、本発明は以下の説明に限定されず、本発明の趣旨及びその範囲から逸脱することなくその形態及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。従って、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、以下に説明する発明の構成において、同一部分又は同様な機能を有する部分には同一の符号を異なる図面間で共通して用い、その繰り返しの説明は省略する。

50

【 0 0 1 8 】

(実施の形態 1)

本実施の形態では、本発明の一態様の酸化物半導体を半導体層に用いたトランジスタの測定方法について図 1 を用いて説明する。

【 0 0 1 9 】

本実施の形態では、図 1 に示す測定室 2 0 0 にて、トランジスタのバイアス - 熱ストレス試験を行う。

【 0 0 2 0 】

図 1 に示す測定室 2 0 0 は、酸化物半導体を半導体層に用いたトランジスタを含む試料 3 0 1 を配置するステージ 2 0 2、ポジショナー 2 0 4、半導体パラメータアナライザー 2 0 6、排気手段 2 0 8、ガス導入手段 2 1 0、プローブ 2 1 2 を有する。

10

【 0 0 2 1 】

本実施の形態では、測定室 2 0 0 の内部に、ステージ 2 0 2、及びプローブ 2 1 2 を有する構成としたが、測定室 2 0 0 の構成はこれに限らず、例えば、ポジショナー 2 0 4 や半導体パラメータアナライザー 2 0 6 等を測定室 2 0 0 の内部に有していても良い。さらに、基板加熱手段、除電手段、加圧手段等を有していても良い。基板を加熱しながら加速測定を行うことで、バイアス - 熱ストレス試験に係る測定時間を短縮することができる。除電手段を有することで、試料または測定室内部の静電気を除くことができる。

【 0 0 2 2 】

測定室 2 0 0 は、特に、酸化物半導体のエネルギーギャップ以上のエネルギーを有する光を遮光することが好ましい。このような光を遮光することで、酸化物半導体内での自由電子の発生を防ぎ、トランジスタの特性変動を防ぐことができる。例えば、波長 4 0 0 nm 以下の光を遮光すると、エネルギーギャップが 3 . 1 e V 以上の酸化物半導体を用いたトランジスタの特性変動を抑制する効果を得られる。

20

【 0 0 2 3 】

測定室 2 0 0 と接続するロードロック室を備えていても良い。ロードロック室を介して試料の出し入れを行うと、試料交換時に外気の侵入を防ぐことができるため好ましい。

【 0 0 2 4 】

ステージ 2 0 2 は、上下、前後、左右に移動することができる。プローブ 2 1 2 は、ポジショナー 2 0 4 を操作することによって、上下、前後、左右に移動することができる。プローブ 2 1 2 は、半導体パラメータアナライザー 2 0 6 と接続されている。プローブの数は、特に限定されず、ソース電極用、ドレイン電極用、ゲート電極用、バックゲート電極用、など、測定室内で行う測定の種類や条件によって適宜決定すれば良い。

30

【 0 0 2 5 】

排気手段 2 0 8 としては、測定室 2 0 0 内の空気を排気する手段であれば、特に限定されない。排気手段 2 0 8 として、クライオポンプ、ターボ分子ポンプ、ドライポンプ等を有していると、真空排気を行ってからガスを導入できるため、短時間で、測定室 2 0 0 内を所望の雰囲気とすることができ、好ましい。

【 0 0 2 6 】

ガス導入手段 2 1 0 から測定室 2 0 0 内に導入されるガスとしては、不活性ガスを用いればよく、例えば、ヘリウム、アルゴン、キセノンなどの希ガスや、乾燥空気、又は窒素などを用いることができる。特に、乾燥空気や窒素、アルゴンは、安価で入手できるため、好ましい。

40

【 0 0 2 7 】

排気手段 2 0 8 及びガス導入手段 2 1 0 を用いることで、測定室 2 0 0 内を、湿度が十分に低い雰囲気とすることができる。具体的には、測定室 2 0 0 の内部を、露点 - 5 以下 (好ましくは - 3 0 以下、さらに好ましくは - 6 0 以下) - 1 1 0 以上の雰囲気とすることができる。

【 0 0 2 8 】

湿度が十分に低い雰囲気とすることで、酸化物半導体を半導体層に用いたトランジスタの

50

特性に影響を及ぼす水分を大気中に比べて非常に少なくすることができる。したがって、湿度が十分に低い雰囲気下で該トランジスタの測定を行うことで、再現性の高い測定結果を得ることができる。

【 0 0 2 9 】

露点が - 5 よりも高い雰囲気下で該トランジスタの測定を行うと、雰囲気中の水分の影響により、トランジスタの特性が変動してしまう。一方、露点が - 1 1 0 以下の雰囲気下で測定するためには、従来の測定方法に比べて高性能の露点計などが必要となり、トランジスタの測定に設定する条件としては好ましくない。よって、湿度が十分に低い雰囲気下として、具体的には、露点 - 1 1 0 以上 - 5 以下の雰囲気下で、トランジスタの測定を行うことが好ましい。

10

【 0 0 3 0 】

なお、本実施の形態では、測定室 2 0 0 の内部全体を、湿度が十分に低い雰囲気となるようにガスを導入する場合を説明したが、本発明の一態様の測定方法は、これに限られない。つまり、本発明の一態様の測定方法は、測定するトランジスタのチャネル形成領域と重なる領域を含む測定範囲が、湿度が十分に低い雰囲気に保持されていれば良い。したがって、例えば、該チャネル形成領域と重なる領域に不活性ガスを噴きつけ、該領域を湿度が十分に低い雰囲気に保持しても良い。

【 0 0 3 1 】

次に、図 1 に示す測定室 2 0 0 にて行う、トランジスタのバイアス - 熱ストレス試験について具体的に説明する。

20

【 0 0 3 2 】

本発明の一態様の測定方法を用いて、トランジスタの信頼性を調べるための手法の 1 つである、バイアス - 熱ストレス試験 (B T 試験) を行うことができる。 B T 試験は加速試験の一種であり、長期間の使用によって起こるトランジスタの特性変化を、短時間で評価することができる。本実施の形態では、トランジスタのゲート電極に所定の電圧を一定時間印加して、しきい値電圧の経時変化を測定する。 B T 試験前後におけるトランジスタのしきい値電圧の変化量は、信頼性を調べるための重要な指標となる。 B T 試験前後において、しきい値電圧の変化量が小さいほど信頼性が高い。

【 0 0 3 3 】

具体的には、トランジスタが形成されている基板の温度を一定に維持し、トランジスタのソースとドレインを同電位とし、ゲートにはソース及びドレインとは異なる電位を一定時間与える。基板の温度は、試験目的に応じて適宜設定すればよい。なお、「 + ゲート B T 試験」では、ゲートに与える電位がソース及びドレインの同電位よりも高く、「 - ゲート B T 試験」では、ゲートに与える電位がソース及びドレインの同電位よりも低い。

30

【 0 0 3 4 】

B T 試験の試験強度は、基板温度、ゲート絶縁層に加えられる電界強度及び電界印加時間により決定することができる。ゲート絶縁層中の電界強度は、ゲート、ソース及びドレイン間の電位差をゲート絶縁層の厚さで除して決定される。例えば、厚さが 1 0 0 n m のゲート絶縁層中の電界強度を 2 M V / c m とする場合には、該電位差を 2 0 V とすればよい。

40

【 0 0 3 5 】

本実施の形態では、本発明の一態様の測定方法を用いて、 - B T 試験を行う場合について説明する。

【 0 0 3 6 】

まず、ステージ 2 0 2 上に、酸化物半導体を半導体層に用いたトランジスタを含む試料 3 0 1 を配置する。そして、試料 3 0 1 のコンタクトパッドと、プローブ 2 1 2 が電氣的に接続するように、ステージ 2 0 2 やポジショナー 2 0 4 を操作し、試料 3 0 1 とプローブ 2 1 2 の位置合わせを行う。

【 0 0 3 7 】

次に、ガス導入手段 2 1 0 を用いて、測定室 2 0 0 の内部に不活性ガスを導入する。不活

50

性ガスを導入することによって、測定室 200 の内部を、湿度が十分に低い雰囲気とする。具体的には、測定室 200 の内部を、露点 - 5 以下（好ましくは - 30 以下、さらに好ましくは - 60 以下）の雰囲気とする。以後、測定が終了するまで、測定室 200 の内部は、該雰囲気を保持する。

【0038】

排気手段 208 を用いて真空排気を行うことができる場合には、ガスを導入する前に、排気手段 208 を用いて真空排気を行っても良い。真空排気を行うと、測定室 200 の内部を所望の雰囲気下（例えば、露点 - 110 以上 - 60 以下の雰囲気下）にするための所要時間を短くすることができるため、好ましい。

【0039】

なお、湿度が十分に低い雰囲気に保持された状態で、ステージ 202 やポジショナー 204 を操作することが出来る場合には、ガスを導入してから試料 301 とプローブ 212 の位置合わせを行っても良い。

【0040】

そして、試料 301 のトランジスタの初期特性を測定する。本実施の形態では、基板温度を 25 とし、ドレイン電圧を 10 V とし、ゲート電圧を - 10 V ~ + 10 V まで変化させたときのドレイン電流の変化特性、すなわち $V_g - I_d$ 特性を測定する。初期特性は、 $V_g - I_d$ 特性に限らず、 $V_d - I_d$ 特性を測定しても良い。

【0041】

次に、基板温度を 25 に保ったまま、トランジスタのソース及びドレインの電位を 0 V とする。続いて、ゲート絶縁層に印加される電界強度が 2 MV / cm となるように、ゲートに負の電圧を印加し、そのまま 1 時間保持する。ゲート絶縁層に印加する電界強度や、電圧の印加時間は、目的に応じて適時選択することができる。

【0042】

最後に、初期特性の測定と同じ条件で、電圧の印加を終えたトランジスタの $V_g - I_d$ 特性を測定し、- B T 試験後の $V_g - I_d$ 特性を得る。

【0043】

なお、B T 試験に際しては、まだ一度も B T 試験を行っていないトランジスタを用いて試験を行うことが重要である。例えば、一度 + B T 試験を行ったトランジスタを用いて - B T 試験を行うと、先に行った + B T 試験の影響により、- B T 試験結果を正しく評価することができない。また、一度 + B T 試験を行ったトランジスタを用いて、再度 + B T 試験を行った場合等も同様である。ただし、これらの影響を踏まえて、あえて B T 試験を繰り返す場合はこの限りではない。

【0044】

以上のように、本発明の一態様のトランジスタの測定方法は、湿度が十分に低い雰囲気（具体的には、露点 - 110 以上 - 5 以下の雰囲気）下で測定を行う。よって、本発明の一態様の測定方法で、酸化物半導体を半導体層に用いたトランジスタの B T 試験を行うと、測定雰囲気下の水分の影響を受けて該トランジスタの特性が変動することを防ぐことができる。したがって、再現性の高い測定結果を得ることができる。

【0045】

なお、本実施の形態は、本明細書で示す他の実施の形態と適宜組み合わせることができる。

【0046】

（実施の形態 2）

本実施の形態では、本発明の一態様の測定方法で測定する酸化物半導体を半導体層に用いたトランジスタの構成及び作製方法について図 2 及び図 3 を用いて説明する。

【0047】

トランジスタは、様々に分類される。例えば、基板とゲートとチャネル形成領域の位置関係により、ボトムゲート型構造とトップゲート型構造に分類される。チャネル形成領域と基板の間にゲートが配されたトランジスタ構造はボトムゲート型構造と呼ばれる。一方で

10

20

30

40

50

、ゲートと基板の間にチャンネル形成領域が配されたトランジスタ構造はトップゲート型構造と呼ばれる。

【 0 0 4 8 】

または、ソース及びドレインと、チャンネルを形成する半導体層の接続箇所によりボトムコンタクト型とトップコンタクト型に分類される。ソース及びドレインと、チャンネルを形成する半導体層の接続箇所が、基板側に配される構造はボトムコンタクト構造と呼ばれる。ソース及びドレインと、チャンネルを形成する半導体層の接続箇所が、基板とは逆側に配される構造はトップコンタクト構造と呼ばれる。

【 0 0 4 9 】

本実施の形態では、本発明の一態様の測定方法で測定するトランジスタとして、ボトムゲート・ボトムコンタクト構造のトランジスタを例に用いて説明するが、本発明の一態様の測定方法で測定する酸化物半導体を用いたトランジスタの構成は特に限定されず、ボトムゲート型構造を用いてもトップゲート型構造を用いても良い。さらに、ボトムコンタクト構造を用いても、トップコンタクト構造を用いても良い。

【 0 0 5 0 】

本実施の形態で作製するボトムゲート型のトランジスタ 5 5 0 の構成を図 2 に示す。図 2 (A) にトランジスタ 5 5 0 の上面図を、図 2 (B) にトランジスタ 5 5 0 の断面図を示す。なお、図 2 (B) は図 2 (A) に示す切断線 P 1 - P 2 における断面に相当する。

【 0 0 5 1 】

トランジスタ 5 5 0 は、絶縁表面を有する基板 5 0 0 上に、ゲート電極 5 1 1、及びゲート電極 5 1 1 を覆うゲート絶縁層 5 0 2 を有する。また、ゲート絶縁層 5 0 2 上にゲート電極 5 1 1 と重畳する酸化物半導体層 5 1 3 b、及び酸化物半導体層 5 1 3 b に接し、端部をゲート電極 5 1 1 と重畳するソース電極またはドレイン電極として機能する第 1 の電極 5 1 5 a 及び第 2 の電極 5 1 5 b を有する。また、酸化物半導体層と重なりその一部と接している絶縁層 5 0 7 を有する。

【 0 0 5 2 】

次に、トランジスタ 5 5 0 を基板 5 0 0 上に作製する方法について、図 3 を用いて説明する。

【 0 0 5 3 】

まず、絶縁表面を有する基板 5 0 0 上に導電膜を形成した後、第 1 のフォトリソグラフィ工程によりゲート電極 5 1 1 を含む配線層を形成する。なお、レジストマスクをインクジェット法で形成しても良い。レジストマスクをインクジェット法で形成するとフォトリソグラフィを使用しないため、製造コストを低減できる。

【 0 0 5 4 】

本実施の形態では絶縁表面を有する基板 5 0 0 としてガラス基板を用いる。

【 0 0 5 5 】

下地膜となる絶縁膜を基板 5 0 0 とゲート電極 5 1 1 との間に設けても良い。下地膜は、基板 5 0 0 からの不純物元素の拡散を防止する機能があり、窒化シリコン膜、酸化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、又は酸化窒化シリコン膜を単層で又は積層して形成することができる。

【 0 0 5 6 】

また、ゲート電極 5 1 1 は、モリブデン、チタン、タンタル、タンゲステン、アルミニウム、銅、ネオジム、スカンジウム等の金属材料又はこれらを主成分とする合金材料を用いて、単層で又は積層して形成することができる。

【 0 0 5 7 】

次いで、ゲート電極 5 1 1 上にゲート絶縁層 5 0 2 を形成する。ゲート絶縁層 5 0 2 は、プラズマ C V D 法又はスパッタリング法等を用いて、酸化シリコン層、窒化シリコン層、酸化窒化シリコン層、窒化酸化シリコン層、酸化アルミニウム層、窒化アルミニウム層、酸化窒化アルミニウム層、窒化酸化アルミニウム層、又は酸化ハフニウム層を単層で又は積層して形成することができる。

10

20

30

40

50

【0058】

本実施の形態の酸化物半導体としては、不純物を除去され、I型化（真性化）又は実質的にI型化された酸化物半導体を用いる。このような高純度化された酸化物半導体は界面準位、界面電荷に対して極めて敏感であるため、酸化物半導体層とゲート絶縁層との界面は重要である。そのため高純度化された酸化物半導体に接するゲート絶縁層は、高品質化が要求される。

【0059】

例えば、 μ 波（例えば周波数2.45GHz）を用いた高密度プラズマCVDは、緻密で絶縁耐压の高い高品質な絶縁層を形成できるので好ましい。高純度化された酸化物半導体と高品質ゲート絶縁層とが密接することにより、界面準位を低減して界面特性を良好なものとすることができるからである。

10

【0060】

もちろん、ゲート絶縁層として良質な絶縁層を形成できるものであれば、スパッタリング法やプラズマCVD法など他の成膜方法を適用することができる。また、成膜後の熱処理によってゲート絶縁層の膜質、酸化物半導体との界面特性が改質される絶縁層であっても良い。いずれにしても、ゲート絶縁層としての膜質が良好であることは勿論のこと、酸化物半導体との界面準位密度を低減し、良好な界面を形成できるものであれば良い。

【0061】

また、ゲート絶縁層502、酸化物半導体膜に水素、水酸基及び水分がなるべく含まれないようにするために、酸化物半導体膜の成膜の前処理として、スパッタリング装置の予備加熱室でゲート電極511が形成された基板500、又はゲート絶縁層502までが形成された基板500を予備加熱し、基板500に吸着した水素、水分などの不純物を脱離し排気することが好ましい。なお、予備加熱室に設ける排気手段はクライオポンプが好ましい。なお、この予備加熱の処理は省略することもできる。またこの予備加熱は、絶縁層507の成膜前に、第1の電極515a及び第2の電極515bまで形成した基板500にも同様に行っても良い。

20

【0062】

次いで、ゲート絶縁層502上に、膜厚2nm以上200nm以下、好ましくは5nm以上30nm以下の酸化物半導体膜513aを形成する（図3（A））。

【0063】

なお、酸化物半導体膜513aをスパッタリング法により成膜する前に、アルゴンガスを導入してプラズマを発生させる逆スパッタを行い、ゲート絶縁層502の表面に付着している粉状物質（パーティクル、ごみともいう）を除去することが好ましい。逆スパッタとは、アルゴン雰囲気下で基板にRF電源を用いて電圧を印加して基板近傍にプラズマを形成して表面を改質する方法である。なお、アルゴン雰囲気に代えて窒素、ヘリウム、酸素などを用いても良い。

30

【0064】

酸化物半導体膜513aに用いる酸化物半導体としては、四元系金属酸化物であるIn-Sn-Ga-Zn-O系酸化物半導体や、三元系金属酸化物であるIn-Ga-Zn-O系酸化物半導体、In-Sn-Zn-O系酸化物半導体、In-Al-Zn-O系酸化物半導体、Sn-Ga-Zn-O系酸化物半導体、Al-Ga-Zn-O系酸化物半導体、Sn-Al-Zn-O系酸化物半導体や、二元系金属酸化物であるIn-Zn-O系酸化物半導体、Sn-Zn-O系酸化物半導体、Al-Zn-O系酸化物半導体、Zn-Mg-O系酸化物半導体、Sn-Mg-O系酸化物半導体、In-Ga-O系酸化物半導体、In-Mg-O系酸化物半導体や、一元系金属酸化物であるIn-O系酸化物半導体、Sn-O系酸化物半導体、Zn-O系酸化物半導体などを用いることができる。また、上記酸化物半導体はSiO₂を含んでも良い。ここで、例えば、In-Ga-Zn-O系酸化物半導体とは、インジウム（In）、ガリウム（Ga）、亜鉛（Zn）を有する酸化物膜、という意味であり、その組成比はとくに問わない。また、InとGaとZn以外の元素を含んでも良い。本実施の形態では、酸化物半導体膜を、In-Ga-Zn-O系酸化物

40

50

ターゲットを用いてスパッタリング法により成膜する。

【0065】

また、酸化物半導体としてIn-Zn-O系の材料を用いる場合、用いるターゲットの組成比は、原子数比で、 $\text{In}:\text{Zn}=50:1\sim 1:2$ （モル数比に換算すると $\text{In}_2\text{O}_3:\text{ZnO}=25:1\sim 1:4$ ）、好ましくは $\text{In}:\text{Zn}=20:1\sim 1:1$ （モル数比に換算すると $\text{In}_2\text{O}_3:\text{ZnO}=10:1\sim 1:2$ ）、さらに好ましくは $\text{In}:\text{Zn}=15:1\sim 1:5$ （モル数比に換算すると $\text{In}_2\text{O}_3:\text{ZnO}=15:2\sim 3:4$ ）とする。例えば、In-Zn-O系酸化物半導体の形成に用いるターゲットは、原子数比が $\text{In}:\text{Zn}:\text{O}=X:Y:Z$ のとき、 $Z>1.5X+Y$ とする。

【0066】

酸化物半導体膜513aをスパッタリング法で作製するためのターゲットとしては、例えば、組成比として、 $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO}=1:1:1$ 〔mol数比〕の酸化物ターゲットを用い、In-Ga-Zn-O膜を成膜する。また、このターゲットの材料及び組成に限定されず、例えば、 $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO}=1:1:2$ 〔mol数比〕の酸化物ターゲットを用いても良い。

【0067】

また、酸化物ターゲットの充填率は90%以上100%以下、好ましくは95%以上99.9%以下である。充填率の高い金属酸化物ターゲットを用いることにより、成膜した酸化物半導体膜は緻密な膜とすることができる。

【0068】

酸化物半導体膜513aを成膜する際に用いるスパッタガスは、水素、水、水酸基又は水素化物などの不純物が除去された高純度ガスを用いることが好ましい。

【0069】

減圧状態に保持された成膜室内に基板を保持し、基板温度を100℃以上600℃以下好ましくは200℃以上400℃以下とする。基板を加熱しながら成膜することにより、成膜した酸化物半導体膜に含まれる不純物濃度を低減することができる。また、スパッタリングによる損傷が軽減される。そして、成膜室内の残留水分を除去しつつ水素及び水分が除去されたスパッタガスを導入し、上記ターゲットを用いて基板500上に酸化物半導体膜を成膜する。成膜室内の残留水分を除去するためには、吸着型の真空ポンプ、例えば、クライオポンプ、イオンポンプ、チタンサブリーションポンプを用いることが好ましい。また、排気手段としては、ターボポンプにコールドトラップを加えたものであっても良い。クライオポンプを用いて排気した成膜室は、例えば、水素や、水などの水素を含む化合物（より好ましくは炭素を含む化合物も）等が排気されるため、当該成膜室で成膜した酸化物半導体膜に含まれる不純物の濃度を低減できる。

【0070】

スパッタリング法を行う雰囲気は、希ガス（代表的にはアルゴン）雰囲気、酸素雰囲気、または希ガスと酸素の混合雰囲気とすれば良い。

【0071】

成膜条件の一例としては、基板とターゲットとの間の距離を100mm、圧力0.6Pa、直流（DC）電源0.5kW、酸素（酸素流量比率100%）雰囲気下の条件が適用される。なお、パルス直流電源を用いると、成膜時に発生する粉状物質（パーティクル、ごみともいう）が軽減でき、膜厚分布も均一となるために好ましい。

【0072】

次いで、酸化物半導体膜513aを第2のフォトリソグラフィ工程により島状の酸化物半導体層513bに加工する（図3（B））。また、島状の酸化物半導体層を形成するためのレジストマスクをインクジェット法で形成しても良い。レジストマスクをインクジェット法で形成するとフォトマスクを使用しないため、製造コストを低減できる。

【0073】

また、ゲート絶縁層502にコンタクトホールを形成する場合、その工程は酸化物半導体膜の加工時に同時に行うことができる。

10

20

30

40

50

【0074】

なお、ここでの酸化物半導体膜513aのエッチングは、ドライエッチングでもウェットエッチングでもよく、両方を用いても良い。例えば、酸化物半導体膜のウェットエッチングに用いるエッチング液としては、燐酸と酢酸と硝酸を混ぜた溶液などを用いることができる。また、ITO07N（関東化学社製）を用いても良い。

【0075】

次いで、酸化物半導体層513bに第1の加熱処理を施す。この第1の加熱処理によって酸化物半導体層の脱水化または脱水素化を行うことができる。第1の加熱処理の温度は、400 以上750 以下、または400 以上基板の歪み点未満とする。本実施の形態では、酸化物半導体層513bに対して窒素雰囲気下450 において1時間の加熱処理を行った。なお、第1の加熱処理は酸化物半導体膜513aの形成後であれば良く、酸化物半導体層513bの形成前であっても形成後であっても良いため、このタイミングに限定されない。更には、第1の加熱処理を行う雰囲気は、窒素雰囲気に限定されず、酸素と窒素の混合雰囲気でもよいし、酸素雰囲気でもよいし、水分が十分に除去された空気（Dry Air）でもよい。第1の加熱処理後は、酸化物半導体層513bの大気曝露を避けるなどして、酸化物半導体層への水や水素の再混入を防ぐことが好ましい。

10

【0076】

なお、加熱処理装置は電気炉に限られず、抵抗発熱体などの発熱体からの熱伝導または熱輻射によって、被処理物を加熱する装置を用いても良い。例えば、GRTA（Gas Rapid Thermal Anneal）装置、LRTA（Lamp Rapid Thermal Anneal）装置等のRTA（Rapid Thermal Anneal）装置を用いることができる。LRTA装置は、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、高圧水銀ランプなどのランプから発する光（電磁波）の輻射により、被処理物を加熱する装置である。GRTA装置は、高温のガスを用いて加熱処理を行う装置である。高温のガスには、アルゴンなどの希ガス、または窒素のような、加熱処理によって被処理物と反応しない不活性気体を用いられる。

20

【0077】

なお、第1の加熱処理においては、窒素、またはヘリウム、ネオン、アルゴン等の希ガス雰囲気中に、水、水素などが含まれないことが好ましい。または、加熱処理装置に導入する窒素、またはヘリウム、ネオン、アルゴン等の希ガスの純度を、6N（99.9999%）以上好ましくは7N（99.99999%）以上（即ち不純物濃度を1ppm以下、好ましくは0.1ppm以下）とすることが好ましい。

30

【0078】

また、第1の加熱処理で酸化物半導体層を加熱した後、同じ炉に高純度の酸素ガス、高純度のN₂Oガス、又は超乾燥エア（露点が-40 以下、好ましくは-60 以下）を導入しても良い。酸素ガスまたはN₂Oガスに、水、水素などが含まれないことが好ましい。または、加熱処理装置に導入する酸素ガスまたはN₂Oガスの純度を、6N以上好ましくは7N以上（即ち、酸素ガスまたはN₂Oガス中の不純物濃度を1ppm以下、好ましくは0.1ppm以下）とすることが好ましい。酸素ガス又はN₂Oガスの作用により、酸化物半導体を構成する主成分材料である酸素を供給することができる。

40

【0079】

また、ゲート絶縁層502にコンタクトホールを形成する場合、その工程は酸化物半導体膜に第1の加熱処理を行う前に行っても良いし、第1の加熱処理を行った後に行っても良い。

【0080】

また、酸化物半導体膜を2回に分けて成膜し、2回に分けて加熱処理を行うことで、はじめに成膜した酸化物半導体膜が接する下地部材の材料が、酸化物、窒化物、金属など材料を問わず、膜厚の厚い結晶領域、即ち、膜表面に垂直にc軸配向した結晶領域を有する酸化物半導体膜を形成しても良い。例えば、3nm以上15nm以下の第1の酸化物半導体

50

膜を成膜し、窒素、酸素、希ガス、または乾燥空気の雰囲気下で450 以上850 以下の第1の加熱処理を行い、表面を含む領域に結晶領域(板状結晶を含む)を有する第1の酸化物半導体膜を形成する。そして、第1の酸化物半導体膜よりも厚い第2の酸化物半導体膜を形成し、450 以上850 以下の第2の加熱処理を行い、第1の酸化物半導体膜を結晶成長の種として、上方に結晶成長させ、第2の酸化物半導体膜の全体を結晶化させ、結果として膜厚の厚い結晶領域を有する酸化物半導体膜を形成しても良い。

【0081】

次いで、ゲート絶縁層502、及び酸化物半導体層513b上に、ソース電極及びドレイン電極(これと同じ層で形成される配線を含む)となる導電膜を形成する。ソース電極、及びドレイン電極に用いる導電膜としては、例えば、Al、Cr、Cu、Ta、Ti、Mo、Wから選ばれた元素を含む金属膜、または上述した元素を成分とする金属窒化物膜(窒化チタン膜、窒化モリブデン膜、窒化タングステン膜)等を用いることができる。また、Al、Cuなどの金属膜の下側又は上側の一方または双方にTi、Mo、Wなどの高融点金属膜またはそれらの金属窒化物膜(窒化チタン膜、窒化モリブデン膜、窒化タングステン膜)を積層させた構成としても良い。特に、酸化物半導体層と接する側にチタンを含む導電膜を設けることが好ましい。

10

【0082】

第3のフォトリソグラフィ工程により導電膜上にレジストマスクを形成し、選択的にエッチングを行ってソース電極またはドレイン電極として機能する第1の電極515a、及び第2の電極515bを形成した後、レジストマスクを除去する(図3(C))。

20

【0083】

第3のフォトリソグラフィ工程でのレジストマスク形成時の露光には、紫外線やKrFレーザ光やArFレーザ光を用いると良い。酸化物半導体層513b上で隣り合う第1の電極の下端部と第2の電極の下端部との間隔幅によって後に形成されるトランジスタのチャネル長Lが決定される。なお、チャネル長 $L = 25\text{ nm}$ 未満の露光を行う場合には、数 nm ~数 10 nm と極めて波長が短い超紫外線(Extreme Ultraviolet)を用いて第3のフォトリソグラフィ工程でのレジストマスク形成時の露光を行うと良い。超紫外線による露光は、解像度が高く焦点深度も大きい。従って、後に形成されるトランジスタのチャネル長Lを 10 nm 以上 1000 nm 以下とすることも可能であり、回路の動作速度を高速化できる。

30

【0084】

また、フォトリソグラフィ工程で用いるフォトマスク数及び工程数を削減するため、透過した光が複数の強度となる露光マスクである多階調マスクによって形成されたレジストマスクを用いてエッチング工程を行っても良い。多階調マスクを用いて形成したレジストマスクは複数の膜厚を有する形状となり、エッチングを行うことでさらに形状を変形することができるため、異なるパターンに加工する複数のエッチング工程に用いることができる。よって、一枚の多階調マスクによって、少なくとも二種類以上の異なるパターンに対応するレジストマスクを形成することができる。よって露光マスク数を削減することができ、対応するフォトリソグラフィ工程も削減できるため、工程の簡略化が可能となる。

【0085】

40

なお、導電膜のエッチングの際に、酸化物半導体層513bがエッチングされ、分断することのないようエッチング条件を最適化することが望まれる。しかしながら、導電膜のみをエッチングし、酸化物半導体層513bを全くエッチングしないという条件を得ることは難しく、導電膜のエッチングの際に酸化物半導体層513bは一部のみがエッチングされ、溝部(凹部)を有する酸化物半導体層513bとなることもある。

【0086】

本実施の形態では、導電膜としてTi膜を用い、酸化物半導体層513bにはIn-Ga-Zn-O系酸化物半導体膜を用いる。このような組み合わせにおいては、エッチャントとしてアンモニア過水(アンモニア、水、過酸化水素水の混合液)が好適である。

【0087】

50

次いで、 N_2O 、 N_2 、または Ar などのガスを用いたプラズマ処理を行い、露出している酸化物半導体層の表面に付着した吸着水などを除去しても良い。プラズマ処理を行った後、大気に触れることなく、酸化物半導体層の一部に接する保護絶縁膜となる絶縁層507を形成する(図3(D))。

【0088】

絶縁層507は、少なくとも1nm以上の膜厚とし、スパッタ法など、絶縁層507に水、水素等の不純物を混入させない方法を適宜用いて形成することができる。絶縁層507に水素が含まれると、その水素の酸化物半導体層への侵入、又は水素による酸化物半導体層中の酸素の引き抜き、が生じ酸化物半導体層のバックチャネルが低抵抗化(N型化)してしまい、寄生チャネルが形成されるおそれがある。よって、絶縁層507はできるだけ水素を含まない膜になるように、成膜方法に水素を用いないことが重要である。

10

【0089】

本実施の形態では、絶縁層507として膜厚200nmの酸化シリコン膜を、スパッタリング法を用いて成膜する。成膜時の基板温度は、室温以上300以下とすればよく、本実施の形態では100とする。酸化シリコン膜のスパッタ法による成膜は、希ガス(代表的にはアルゴン)雰囲気下、酸素雰囲気下、または希ガスと酸素の混合雰囲気下において行うことができる。また、ターゲットとして酸化シリコンターゲットまたはシリコンターゲットを用いることができる。例えば、シリコンターゲットを用いて、酸素を含む雰囲気下でスパッタ法により酸化シリコン膜を形成することができる。酸化物半導体層に接して形成する絶縁層507は、水や水素などの不純物を含まず、これらが外部から侵入することをブロックする無機絶縁膜を用い、代表的には酸化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、酸化アルミニウム膜、または酸化窒化アルミニウム膜などを用いる。

20

【0090】

酸化物半導体膜の成膜時と同様に、絶縁層507の成膜室内の残留水分を除去するためには、吸着型の真空ポンプ(クライオポンプなど)を用いることが好ましい。クライオポンプを用いて排気した成膜室で成膜した絶縁層507に含まれる不純物の濃度を低減できる。また、絶縁層507の成膜室内の残留水分を除去するための排気手段としては、ターボポンプにコールドトラップを加えたものであっても良い。

【0091】

絶縁層507を成膜する際に用いるスパッタガスは、水素、水、水酸基又は水素化物などの不純物が除去された高純度ガスを用いることが好ましい。

30

【0092】

次いで、不活性ガス雰囲気下、または酸素ガス雰囲気下で第2の加熱処理(酸化物半導体層を2回に分けて成膜し、2回に分けて加熱処理を行う場合は、第3の加熱処理)を行っても良い。当該加熱処理は200以上400以下、例えば250以上350以下が好ましい。例えば、酸素雰囲気下で250、1時間の第2の加熱処理を行う。第2の加熱処理を行うと、酸化物半導体層の一部が絶縁層507と接した状態で加熱される。

【0093】

また、絶縁層507に欠陥を多く含む酸化シリコン層を用いると、酸化シリコン層形成後、第2の加熱処理によって酸化物半導体層中に含まれる水素や水などの不純物を酸化シリコン層に拡散させ、酸化物半導体層中に含まれる該不純物をより低減させる効果を奏する。

40

【0094】

絶縁層507上にさらに保護絶縁層を形成しても良い。例えば、RFスパッタ法を用いて形成する。RFスパッタ法は、量産性が良いため、保護絶縁層の成膜方法として好ましい。保護絶縁層は、水分などの不純物を含まず、これらが外部から侵入することをブロックする無機絶縁膜を用い、窒化シリコン膜、窒化アルミニウム膜などを用いる。

【0095】

保護絶縁層の形成後、さらに大気中、100以上200以下、1時間以上30時間以下の加熱処理を行っても良い。この加熱処理は一定の加熱温度を保持して加熱しても良

50

いし、室温から、100 以上200 以下の加熱温度への昇温と、加熱温度から室温までの降温を複数回くりかえして行っても良い。

【0096】

以上のように、酸化物半導体を半導体層に用いたトランジスタを作製することができる。このように作製したトランジスタを、実施の形態1で示した本発明の一態様の測定方法で測定すると、再現性の高い測定結果を得ることができる。

【0097】

なお、本実施の形態の酸化物半導体としては、不純物を除去され、I型化又は実質的にI型化された酸化物半導体を用いたが、本発明の一態様の測定方法で測定するトランジスタが有する半導体層に用いる酸化物半導体は特に限定されない。

10

【0098】

なお、本実施の形態は、本明細書で示す他の実施の形態と適宜組み合わせることができる。

【実施例1】

【0099】

本実施例では、本発明の一態様のトランジスタの測定方法を用いて行った、酸化物半導体を半導体層に用いたトランジスタの-BT試験について説明する。

【0100】

まず、本実施例で用いたトランジスタの作製方法を、図2を用いて説明する。本実施例で作製したトランジスタは、6種類あり、それぞれ2つずつ作製した。以後、これらトランジスタを含む試料を試料1~12と記す。試料1~12は、チャンネル長Lとチャンネル幅Wがそれぞれ異なっており、詳細は表1に示す通りである。

20

【0101】

【表1】

	チャンネル長L(μm)	チャンネル幅W(μm)
試料1・試料7	3	20
試料2・試料8	6	20
試料3・試料9	20	20
試料4・試料10	3	50
試料5・試料11	6	50
試料6・試料12	20	50

30

【0102】

まず、ガラス基板上にタンゲステン膜を100nmの厚さで形成し、第1のフォトリソグラフィ工程によりゲート電極511を含む配線層を形成した。

【0103】

次に、ゲート電極511上にゲート絶縁層502として、高密度プラズマCVD法を用いて、酸化窒化シリコン膜を100nmの厚さで形成した。

【0104】

次に、ゲート絶縁層502上に、スパッタリング法を用いて、25nmの厚さの酸化物半導体膜を形成した。酸化物半導体膜をスパッタリング法で作製するためのターゲットとしては、組成比として、 $\text{In}_2\text{O}_3 : \text{Ga}_2\text{O}_3 : \text{ZnO} = 1 : 1 : 1$ [mol数比]の酸化物ターゲットを用い、In-Ga-Zn-O膜を成膜した。成膜時は、基板を200に加熱しながら成膜を行った。その他成膜条件としては、圧力を0.6Paとし、直流(DC)電源を5kWとし、酸素及びアルゴン混合雰囲気(ガス流量比が、酸素：アルゴン=1：1)下の条件を適用して行った。

40

【0105】

次に、酸化物半導体膜を第2のフォトリソグラフィ工程により島状の酸化物半導体層513bに加工した。

【0106】

そして、島状の酸化物半導体層513bに対して、RTA(Rapid Thermal

50

Anneal)装置を用いて、窒素雰囲気下、650において6分間の加熱処理を行い、クリーンオープンを用いて、窒素及び酸素の混合雰囲気(ガス流量比が、窒素：酸素=4：1)下、450において1時間の加熱処理を行った。

【0107】

次に、ゲート絶縁層502、及び酸化物半導体層513b上に、ソース電極及びドレイン電極(これと同じ層で形成される配線を含む)となる導電膜を形成した。本実施例において、導電膜は、チタン膜100nmと、該チタン膜上にアルミニウム膜200nmと、該アルミニウム膜上にチタン膜100nmが積層された三層の積層構造とした。そして、第3のフォトリソグラフィ工程により、ソース電極またはドレイン電極として機能する第1の電極515a及び第2の電極515bを形成した。

10

【0108】

次に、酸化物半導体層513bの一部と接する絶縁層507を形成した。本実施例では、スパッタリング法を用いて、酸化シリコン膜300nmを形成した。酸化シリコン膜を形成する前には、酸素雰囲気下で200、5分間の予備加熱を行った。酸化シリコン膜をスパッタリング法で作製するためのターゲットとしては、酸素雰囲気下でシリコンターゲットを用い、直流(DC)電源を5kWとした。

【0109】

次に、クリーンオープンを用いて、窒素雰囲気下、250において1時間の加熱処理を行った。

【0110】

20

以上のように作製した、トランジスタ(図2ではトランジスタ550)を含む試料1~12について、-BT試験を行った。具体的には、試料1~6は、本発明の一態様のトランジスタの測定方法を適用して、露点-45の雰囲気下で-BT試験を行った。試料7~12は、大気中(露点1~10程度の雰囲気下)で-BT試験を行った。試料1及び試料7の-BT試験の手順について、以下にそれぞれ説明する。試料2~6は、試料1と同様の手順で行い、試料8~試料12は、試料7と同様の手順で行ったため、詳細な説明は省略する。

【0111】

<試料1>

まず、測定室200に、上記作製方法で作製したトランジスタを含む試料1(図1では、試料301)を導入し、ステージ202に配置した。

30

【0112】

次に、試料1のコンタクトパッドとプローブ212が接触するように、ステージ202及びポジショナー204を操作し、試料1とプローブ212の位置合わせを行った。

【0113】

次に、ガス導入手段210を用いて、測定室200の内部に乾燥空気を導入することで、測定室200の内部を、露点-45の雰囲気とし、以後、測定終了まで該雰囲気を保持した。

【0114】

そして、トランジスタの初期特性を測定した。初期特性は、基板温度を25とし、ドレイン電圧を10Vとし、ゲート電圧を-10V~+10Vまで変化させたときのドレイン電流の変化特性、すなわち $V_g - I_d$ 特性を測定した。

40

【0115】

次に、基板温度を25に保ったまま、トランジスタのソース及びドレインの電位を0Vとした。続いて、ゲート絶縁層に印加される電界強度が-2MV/cmとなるように、ゲートに-20Vの電圧を印加した。

【0116】

トランジスタに電圧を印加して、100秒保持させた後、初期特性の測定と同じ条件で、 $V_g - I_d$ 特性を測定し、同様に、300秒、600秒、1000秒、1800秒、3600秒、7200秒、10000秒保持させた後についても、初期特性の測定と同じ条件

50

で、 $V_g - I_d$ 特性を測定した。

【0117】

< 試料 7 >

まず、測定室 200 に、上記作製方法で作製したトランジスタを含む試料 7 (図 1 では、試料 301) を導入し、ステージ 202 に配置した。

【0118】

次に、試料 7 のコンタクトパッドとプローブ 212 が電氣的に接続するように、ステージ 202 及びポジショナー 204 を操作し、試料 7 とプローブ 212 の位置合わせを行った。

【0119】

そして、トランジスタの初期特性を測定した。初期特性は、基板温度を 25 とし、ドレイン電圧を 10 V とし、ゲート電圧を - 10 V ~ + 10 V まで変化させたときのドレイン電流の変化特性、すなわち $V_g - I_d$ 特性を測定した。

【0120】

次に、基板温度を 25 に保ったまま、トランジスタのソース及びドレインの電位を 0 V とした。続いて、ゲート絶縁層に印加される電界強度が - 2 MV / cm となるように、ゲートに - 20 V の電圧を印加した。

【0121】

トランジスタに電圧を印加して、100 秒保持させた後、初期特性の測定と同じ条件で、 $V_g - I_d$ 特性を測定し、同様に、300 秒、600 秒、1000 秒、1800 秒、3600 秒、7200 秒、10000 秒保持させた後についても、初期特性の測定と同じ条件で、 $V_g - I_d$ 特性を測定した。

【0122】

以上のように、試料 1 と試料 7 のトランジスタの - B T 試験を行った。図 4 に、- B T 試験後における初期特性からのしきい値電圧の推移をグラフで示す。図 4 (A) は、試料 1 ~ 6 について、図 4 (B) は、試料 7 ~ 12 について、示している。図 4 (A) (B) において、横軸は、電圧を印加した時間 (以下、ストレス時間) (単位: sec) を、縦軸は、しきい値電圧 (単位: V) を表している。

【0123】

図 4 (A) に示す通り、本発明の一態様の測定方法を用いた (具体的には、露点が - 45 の雰囲気下で測定を行った) 試料 1 ~ 6 では、ストレス時間が 10000 秒のときのしきい値電圧が、初期特性 (図 4 では、ストレス時間 1 秒) のしきい値電圧に比べてほとんど変化が見られなかった。

【0124】

一方、図 4 (B) に示す通り、大気中で測定を行った試料 7 ~ 12 では、ストレス時間が 10000 秒のときのしきい値電圧が、初期特性のしきい値電圧に比べて変化している。

【0125】

以上の結果から、大気中で測定を行った試料と、露点が - 45 の雰囲気下で測定を行った試料では、結果が異なることがわかった。このことから、測定環境下に存在する水分が、酸化物半導体を半導体層に用いたトランジスタの特性に影響を与えることが示唆された。

【0126】

大気中の湿度は、天候等によって変動するため、大気中で該トランジスタの測定を行うと、結果の再現性が得られない。一方、本発明の一態様のトランジスタの測定方法は、湿度が十分に低い雰囲気 (具体的には、露点 - 5 以下 - 110 以上の雰囲気) 下で測定を行う。よって、本発明の一態様の測定方法で、該トランジスタの測定を行うと、測定雰囲気下の水分の影響を受けて該トランジスタの特性が変動することを防ぐことができる。したがって、再現性の高い測定結果を得ることができる。

【符号の説明】

【0127】

200 測定室

10

20

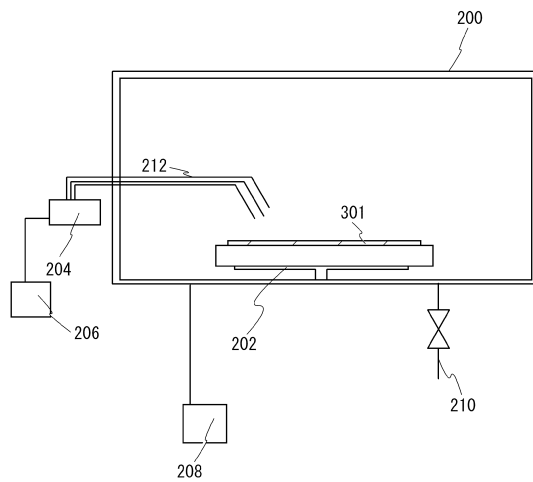
30

40

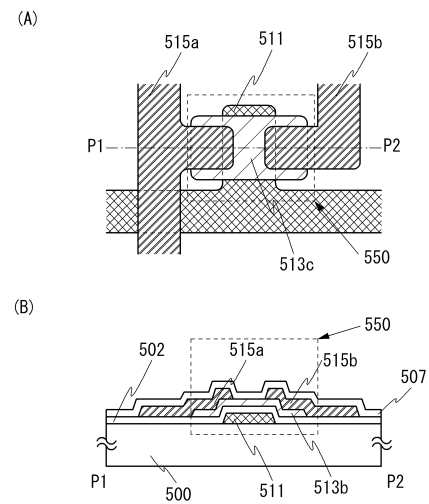
50

2 0 2	ステージ
2 0 4	ポジショナー
2 0 6	半導体パラメータアナライザー
2 0 8	排気手段
2 1 0	ガス導入手段
2 1 2	プローブ
3 0 1	試料
5 0 0	基板
5 0 2	ゲート絶縁層
5 0 7	絶縁層
5 1 1	ゲート電極
5 5 0	トランジスタ
5 1 3 a	酸化物半導体膜
5 1 3 b	酸化物半導体層
5 1 5 a	第 1 の電極
5 1 5 b	第 2 の電極

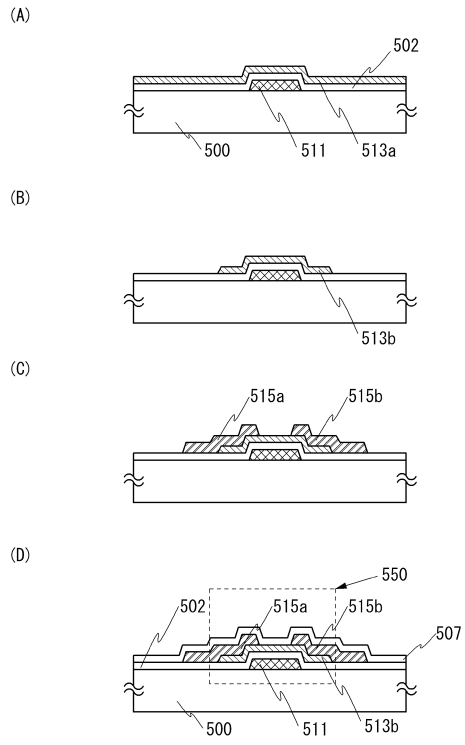
【図 1】



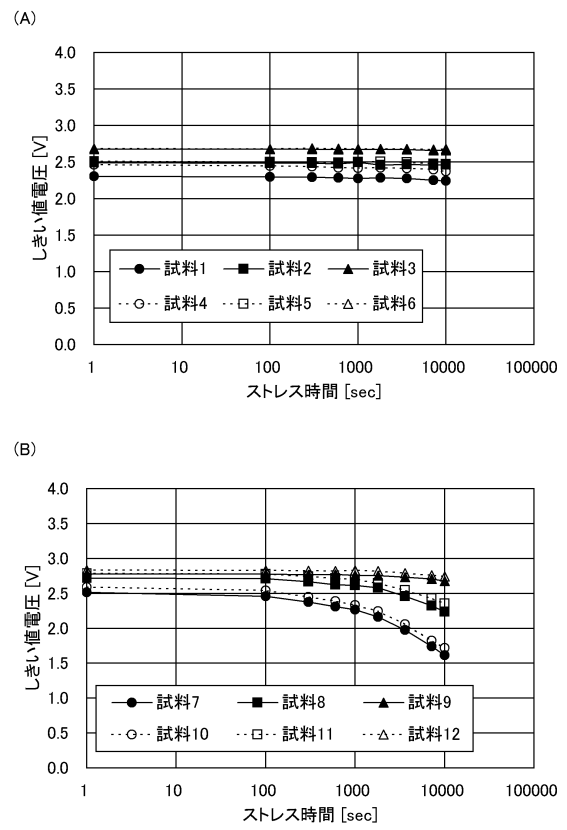
【図 2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2006-303423(JP,A)
特開2010-062229(JP,A)
特開2008-072041(JP,A)
特開2009-212443(JP,A)
特開2009-130180(JP,A)
特開2009-090637(JP,A)
特開2009-099847(JP,A)
特開2006-108271(JP,A)
特開2008-028405(JP,A)
特開2010-070409(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/336
H01L 29/786