

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5378732号
(P5378732)

(45) 発行日 平成25年12月25日(2013.12.25)

(24) 登録日 平成25年10月4日(2013.10.4)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 L 21/66 (2006.01) H O 1 L 21/66 Q

請求項の数 4 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2008-226700 (P2008-226700)	(73) 特許権者	000184713 SUMCO TECHXIV株式会社 長崎県大村市雄ヶ原町1324番地2
(22) 出願日	平成20年9月4日(2008.9.4)	(74) 代理人	110000279 特許業務法人ウィルフォート国際特許事務所
(65) 公開番号	特開2010-62344 (P2010-62344A)	(72) 発明者	大野 隆司 長崎県大村市雄ヶ原町1324番地2 S UMCO TECHXIV株式会社内
(43) 公開日	平成22年3月18日(2010.3.18)	(72) 発明者	松本 圭 長崎県大村市雄ヶ原町1324番地2 S UMCO TECHXIV株式会社内
審査請求日	平成23年8月31日(2011.8.31)	審査官	堀江 義隆

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体用ウエハの評価方法、半導体ウエハの製造方法及び半導体ウエハの製造工程の評価方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体用ウエハを評価する方法であって、

前記半導体用ウエハについて金属 - 酸化膜 - 半導体構造の電流 - 電圧特性を測定し、前記電流 - 電圧特性の測定値と基準値とを比較し、前記測定値と前記基準値とが不一致の場合は不良品であると判定し、前記測定値と前記基準値とが一致する場合は良品であると判定し、

前記不良品であると判定された半導体用ウエハの少なくとも一面側に犠牲酸化膜を成長させた後に当該犠牲酸化膜を除去する処理を実施した後、前記電流 - 電圧特性を再び測定し、再測定値と前記基準値とを比較し、前記再測定値と前記基準値とが一致する場合は良品であると判定し、前記再測定値と前記基準値とが不一致の場合は不良品であると判定する、

半導体用ウエハの評価方法。

【請求項2】

前記電流 - 電圧特性を測定する前に、所定の別の試験として経時絶縁膜破壊試験または瞬時絶縁膜破壊試験のいずれかを実施し、前記所定の別の試験の結果が合格であった場合に、前記電流 - 電圧特性を測定し、前記測定値と前記基準値とを比較し、前記測定値と前記基準値とが不一致の場合は不良品であると判定し、前記測定値と前記基準値とが一致する場合は良品であると判定する、請求項1記載の半導体用ウエハの評価方法。

【請求項3】

半導体用ウエハを評価する方法であって、
 製造工程から供給される所定数の半導体用ウエハの中から少なくとも1枚の半導体用ウエハを試験用半導体用ウエハとして選択するステップと、
 前記選択された試験用半導体用ウエハに金属 - 酸化膜 - 半導体構造を形成し、その金属 - 酸化膜 - 半導体構造の電流 - 電圧特性を測定するステップと、
 基準値と前記電流 - 電圧特性の測定値とを比較するステップと、
 前記基準値と前記測定値とが一致する場合には良品と判定し、前記試験用半導体用ウエハを除く他の半導体用ウエハを出荷工程に送るステップと、
 前記基準値と前記測定値とが不一致の場合には、前記試験用半導体用ウエハと同一バッチあるいは同一ロットの別の半導体用ウエハに犠牲酸化膜を成長させ、この犠牲酸化膜を除去するステップと、
 前記犠牲酸化膜を除去した後で、前記別の半導体用ウエハのうちの少なくともいずれか1枚を新たな試験用半導体用ウエハとして金属 - 酸化膜 - 半導体構造を再形成し、前記電流 - 電圧特性を再測定するステップと、
 再測定値と前記基準値とを比較するステップと、
 前記再測定値と前記基準値とが一致する場合は良品であると判定し、前記試験用半導体用ウエハ及び前記新たな試験用半導体用ウエハを除く他の半導体用ウエハを出荷工程に送るステップと、
 前記再測定値と前記基準値とが不一致の場合には不良品であると判定するステップと、
 を含む半導体用ウエハの評価方法。

10

20

【請求項4】

半導体用ウエハを製造する方法であって、
 所定形状の半導体用ウエハを製造するステップと、
 製造された所定数の半導体用ウエハの中から少なくとも1枚の半導体用ウエハを試験用半導体用ウエハとして選択するステップと、
 前記選択された試験用半導体用ウエハに金属 - 酸化膜 - 半導体構造を形成し、その金属 - 酸化膜 - 半導体構造の電流 - 電圧特性を測定するステップと、
 基準値と前記電流 - 電圧特性の測定値とを比較するステップと、
 前記基準値と前記測定値とが一致する場合には良品と判定し、前記試験用半導体用ウエハを除く他の半導体用ウエハを出荷工程に送るステップと、
 前記基準値と前記測定値とが不一致の場合には、前記試験用半導体用ウエハと同一バッチあるいは同一ロットの別の半導体用ウエハに犠牲酸化膜を成長させ、この犠牲酸化膜を除去するステップと、
 前記犠牲酸化膜を除去した後で、前記別の半導体用ウエハのうちの少なくともいずれか1枚を新たな試験用半導体用ウエハとして金属 - 酸化膜 - 半導体構造を再形成し、前記電流 - 電圧特性を再測定するステップと、
 再測定値と前記基準値とを比較するステップと、
 前記再測定値と前記基準値とが一致する場合は良品であると判定し、前記試験用半導体用ウエハ及び前記新たな試験用半導体用ウエハを除く他の半導体用ウエハを出荷工程に送るステップと、
 前記再測定値と前記基準値とが不一致の場合には不良品であると判定するステップと、
 を含む半導体用ウエハの製造方法。

30

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体用ウエハの評価方法、半導体ウエハの製造方法及び半導体ウエハの製造工程の評価方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体用ウエハの製造工程においては、所定数の半導体用ウエハ毎にそれぞれ1枚ずつ

50

の半導体用ウエハ（シリコンウエハ）を抜き取って、その電気的特性を評価する。評価試験の方法としては、例えば、経時絶縁破壊（TimeDependent Dielectric Breakdown：TDDB）や瞬時絶縁破壊（TimeZero Dielectric Breakdown：TZDB）が知られている（特許文献1，特許文献2）。経時絶縁破壊試験では、金属 - 酸化膜 - 半導体構造（Metal Oxide Semiconductor：MOS）に一定の電圧を印加し、MOSが破壊される率を計測する。瞬時絶縁破壊試験では、MOSに印加する電圧を段階的に高めていき、絶縁破壊が生じる電圧を計測する。

【特許文献1】特開2008-047589号公報

【特許文献2】特開平05-090376号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

上記従来技術に記載の通り、TDDBやTZDBによって半導体用ウエハの電気的特性を評価することができる。しかし、本出願の発明者は、TDDBとTZDBとで評価結果の異なる場合があることを見い出した。即ち、本発明者は、TDDBで良い評価を得た場合でも、TZDBでは良い評価とならない場合があることを見い出した。従って、従来の方法では、半導体用ウエハを適切に評価できない可能性がある。さらに、本発明者は、評価結果に差異が生じる理由を解明し、その差異を有効に解消する方法を見い出した。従来より知られている文献には、測定方法間における結果の相違及びその相違の解消方法について開示されておらず、その示唆も含まれていない。

【0004】

本発明は、上記問題に着目してなされたもので、その目的は、半導体ウエハに関する金属 - 酸化膜 - 半導体構造の電流 - 電圧特性の測定値と基準値との差異に基づいて半導体用ウエハを適切に評価し、その品質を保持することができる評価方法及び製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

上記課題を解決するために、本発明の第1の観点に従う、半導体用ウエハを評価する方法は、半導体用ウエハについて金属 - 酸化膜 - 半導体構造の電流 - 電圧特性を測定し、電流 - 電圧特性の測定値と基準値とを比較し、測定値と基準値とが不一致の場合は不良品であると判定し、測定値と基準値とが一致する場合は良品であると判定する。

ここで、「測定値と基準値とが一致する」とは、基準値と測定値とのずれが、許容範囲内にある場合を意味する。許容範囲は、測定器や酸化処理のばらつきを考慮して事前に求めておくことができる。

【0006】

本発明の実施形態では、測定値と基準値とが不一致の場合、不良品であると判定された半導体用ウエハの少なくとも一面側に所定の処理を実施する。

【0007】

本発明の実施形態では、不良品であると判定された半導体用ウエハに所定の処理を実施した後、金属 - 酸化膜 - 半導体構造の電流 - 電圧特性を再び測定し、再測定値と基準値とを比較し、再測定値と基準値とが一致する場合は良品であると判定し、再測定値と基準値とが不一致の場合は不良品であると判定する。

【0008】

本発明の実施形態では、所定の処理とは、半導体用ウエハの少なくとも一面側に犠牲酸化膜を成長させた後に当該犠牲酸化膜を除去する処理である、請求項2または請求項3のいずれかに記載の半導体用ウエハの評価方法。

【0009】

本発明の別の実施形態では、電流 - 電圧特性を測定する前に、所定の別の試験として経時絶縁膜破壊試験または瞬時絶縁膜破壊試験のいずれかを実施し、所定の別の試験の結果が合格であった場合に、電流 - 電圧特性を測定し、測定値と基準値とを比較し、測定値と

10

20

30

40

50

基準値とが不一致の場合は不良品であると判定し、測定値と基準値とが一致する場合は良品であると判定する。

【0010】

本発明の他の観点に従う、半導体用ウエハを評価する方法は、製造工程から供給される所定数の半導体用ウエハの中から少なくとも1枚の半導体用ウエハを試験用半導体用ウエハとして選択するステップと、選択された試験用半導体用ウエハに金属 - 酸化膜 - 半導体構造を形成し、その金属 - 酸化膜 - 半導体構造の電流 - 電圧特性を測定するステップと、基準値と電流 - 電圧特性の測定値とを比較するステップと、基準値と測定値とが一致する場合には良品と判定し、試験用半導体用ウエハを除く他の半導体用ウエハを出荷工程に送るステップと、基準値と測定値とが不一致の場合には、試験用半導体用ウエハと同一バッチあるいは同一ロットの別の半導体用ウエハに犠牲酸化膜を成長させ、この犠牲酸化膜を除去するステップと、犠牲酸化膜を除去した後で、別の半導体用ウエハのうちの少なくともいずれか1枚を新たな試験用半導体用ウエハとして金属 - 酸化膜 - 半導体構造を再形成し、電流 - 電圧特性を再測定するステップと、再測定値と基準値とを比較するステップと、再測定値と基準値とが一致する場合は良品であると判定し、試験用半導体用ウエハ及び新たな試験用半導体用ウエハを除く他の半導体用ウエハを出荷工程に送るステップと、再測定値と基準値とが不一致の場合は不良品であると判定するステップと、を含む。

10

【0011】

本発明の別の観点に従う、半導体用ウエハの製造方法は、所定形状の半導体用ウエハを製造するステップと、製造された所定数の半導体用ウエハの中から少なくとも1枚の半導体用ウエハを試験用半導体用ウエハとして選択するステップと、選択された試験用半導体用ウエハに金属 - 酸化膜 - 半導体構造を形成し、その金属 - 酸化膜 - 半導体構造の電流 - 電圧特性を測定するステップと、基準値と電流 - 電圧特性の測定値とを比較するステップと、基準値と測定値とが一致する場合には良品と判定し、試験用半導体用ウエハを除く他の半導体用ウエハを出荷工程に送るステップと、基準値と測定値とが不一致の場合には、試験用半導体用ウエハと同一バッチあるいは同一ロットの別の半導体用ウエハに犠牲酸化膜を成長させ、この犠牲酸化膜を除去するステップと、犠牲酸化膜を除去した後で、別の半導体用ウエハのうちの少なくともいずれか1枚を新たな試験用半導体用ウエハとして金属 - 酸化膜 - 半導体構造を再形成し、電流 - 電圧特性を再測定するステップと、再測定値と基準値とを比較するステップと、再測定値と基準値とが一致する場合は良品であると判定し、試験用半導体用ウエハ及び新たな試験用半導体用ウエハを除く他の半導体用ウエハを出荷工程に送るステップと、再測定値と基準値とが不一致の場合は不良品であると判定するステップと、を含む。

20

30

【0012】

本発明のさらに別の観点に従う、半導体用ウエハの製造工程の評価方法は、半導体用ウエハについて金属 - 酸化膜 - 半導体構造の電流 - 電圧特性を測定し、電流 - 電圧特性の測定値と基準値とを比較し、測定値と基準値とが不一致の場合は不良品であると判定し、測定値と基準値とが一致する場合は良品であると判定し、不良品であるとの判定結果及び良品であるとの判定結果に基づいて、製造工程に関する評価を行う。

【発明の効果】

40

【0013】

本発明によれば、半導体ウエハに関する金属 - 酸化膜 - 半導体構造の電流 - 電圧特性の測定値と基準値との差異に基づいて半導体用ウエハを適切に評価し、その品質を保持できる。

本発明によれば、適切な評価に基づいて品質を保持しながら、半導体用ウエハを製造することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

以下、図を参照しながら、本発明の実施形態を詳細に説明する。本実施形態では、以下に述べるように、半導体用ウエハについて金属 - 酸化膜 - 半導体構造の電流 - 電圧特性を

50

測定し、その金属 - 酸化膜 - 半導体構造の電流 - 電圧特性の測定値と基準値とを比較し、測定値と基準値とが不一致の場合は不良品であると判定し、測定値と前記基準値とが一致する場合は良品であると判定する。以下の説明では、半導体用ウエハとしてシリコンウエハを例に挙げて説明する。

【実施例 1】

【0015】

図 1 ~ 図 10 に基づいて第 1 実施例を説明する。図 1 は、本実施例の全体概要を示す説明図である。図 1 には、シリコンウエハ 1 の評価方法が模式的に示されている。製造工程 MP では、シリコンのインゴットを所定の形状に切断して研磨等することにより、円盤状のシリコンウエハ (ベアシリコンウエハ) 1 を製造する。シリコンウエハ 1 は、例えば、25 枚で一組として生成され、4 組で 1 ロットを形成する。1 つのロット PL は、100 枚のシリコンウエハ 1 から構成される。以上は例示であって、本発明は、上記の数値に限定されない。

10

【0016】

製造されたシリコンウエハ 1 は、出荷前に所定の検査を受ける。この検査に合格したシリコンウエハ 1 だけが出荷工程 (S6) に送られる。出荷前の検査は破壊検査であり、検査されたシリコンウエハ 1 は出荷することができない。そこで、1 つのロット PL からいずれか 1 枚のシリコンウエハ 1 を選択し (S1)、この選択されたシリコンウエハ 1 を試験用シリコンウエハとして使用する。なお、ロット PL から複数枚のシリコンウエハ 1 を抜き取って試験用シリコンウエハとして使用してもよい。

20

【0017】

検査工程 (S2 ~ S5) では、後述のように、金属 - 酸化膜 - 半導体構造の電流 - 電圧特性が測定され、基準値と比較される。以下、電流 - 電圧特性を I - V 特性と呼ぶ。準備ステップでは、例えば、シリコンウエハ 1 を 800 - 1000 度の高温下で酸素雰囲気中 (水蒸気雰囲気でもよい) に晒して、シリコンウエハ 1 の表面に酸化膜 2 を形成する。その後、幾つかの処理を施して、酸化膜 2 の表面に複数の電極 3 を形成する。図中では、便宜上一つの電極 3 のみを示すが、実際には複数の電極 3 が酸化膜 2 の表面に設けられる。そして、電極 3 とシリコンウエハ 1 の裏面側との間に、可変電圧を出力する電源装置 4 と電流計 5 とを接続する。これにより、I - V 特性の測定準備が完了する (S2)。

【0018】

I - V 特性の測定ステップでは (S3)、電極 3 とシリコンウエハ 1 の裏面側との間に加えるバイアス電圧を段階的に高めていき、そのときの電流値をそれぞれ測定する。詳細は後述するが、酸化膜 2 を通過して流れる電流の理論値は、所与の各値 (比誘電率や電圧値等) から求めることができる。この理論値が基準値 7 となる。なお、基準値 7 としては、理論値以外に、良品ウエハのマスターデータから求められる値を使用することもできる。マスターデータとは、多数の良品ウエハから測定される平均値である。

30

【0019】

そこで、判定ステップでは (S4)、基準値 7 と測定値 6 とを比較する。測定値 6 は、酸化膜 2 の膜厚 8 に基づいて補正される。図 1 中では、基準値 7 の特性を実線 9A で、測定値 6 の特性を点線 9B で、それぞれ示している。基準値 7 と測定値 6 とが一致する場合、そのシリコンウエハ 1 及び同一ロット PL 内の他の各シリコンウエハ 1 は、それぞれ良品であると判定することができる。良品の各シリコンウエハ 1 は、出荷工程 (S6) に送ることができる。但し、測定に使用されたサンプルのシリコンウエハ 1 は、製品として使用することはできない。

40

【0020】

これとは逆に、基準値 7 と測定値 6 とが不一致の場合、そのシリコンウエハ 1 及び同一ロット PL 内の各シリコンウエハ 1 は、不良品であると判定することができる。本実施例では、不良品と判定されたシリコンウエハ 1 を直ちに廃棄またはリサイクルするのではなく、性能回復のための所定処理を行う (S5)。

【0021】

50

本実施例では、例えば、シリコンウエハ 1 に犠牲酸化膜を成長させた後、その犠牲酸化膜を除去し、洗浄する (S 5)。詳細は後述するが、この所定処理によって、シリコンウエハ 1 の表面及び表面付近に存在する不純物が除去され、シリコンウエハ 1 の性能が回復する。その後、シリコンウエハ 1 に再び酸化膜 2 を形成し (S 2)、I - V 特性を再度測定する (S 3)。

なお、犠牲酸化膜の成長とその除去に限らず、シリコンウエハ 1 を洗浄することによって不純物を取り除くことができる場合もある。洗浄によってシリコンウエハ 1 の不純物を除去できる場合は、犠牲酸化膜の成長及びその除去を行う必要はない。

【0022】

再測定の結果、基準値 7 と再度の測定値 6 とが一致する場合、同一ロット P L 内の各シリコンウエハ 1 のそれぞれについて、S 5 で述べた所定処理を施す。これにより、他の各シリコンウエハ 1 から不純物を取り除いて、予定された性能を発揮させる。

【0023】

これに対し、基準値 7 と再度の測定値 6 とが不一致の場合、そのシリコンウエハ 1 及び同一ロット P L 内の各シリコンウエハ 1 は、性能回復が困難な不良品であると判定することができる。不良品の各シリコンウエハ 1 は、廃棄またはリサイクルされる。

【0024】

なお、基準値 7 と測定値 6 とが一致するとは、両者の値が厳密に一致する場合のみならず、所定の許容誤差内で一致する場合も含む。基準値 7 と測定値 6 とが不一致であるとは、両者の値が所定の許容誤差以上、異なる場合を意味する。

【0025】

別の実施例で述べるように、判定ステップ (S 4) の結果に基づいて、製造工程 M P を評価することができる。例えば、良品のシリコンウエハ 1 を製造した場合は、相対的に高い評価が製造工程 M P に与えられ、不良品のシリコンウエハ 1 を製造した場合は、相対的に低い評価が製造工程 M P に与えられる。

【0026】

次に、それぞれ異なる複数の評価方法を用いてシリコンウエハ 1 の電気的特性を評価する場合に、各評価方法によって評価結果が異なる場合があることを説明する。そして、その評価結果の相違が出現する原因を考察する。さらに、その原因を取り除く方法について説明する。

【0027】

図 2 は、複数のシリコンウエハ 1 A 1, 1 A 2, 1 B 1, 1 B 2, 1 C 1, 1 C 2, 1 D 1, 1 D 2 のそれぞれについて、T D D B を測定した結果を示すグラフである。1 A 1 と 1 A 2、1 B 1 と 1 B 2、1 C 1 と 1 C 2、1 D 1 と 1 D 2 は、それぞれ同一種類のシリコンウエハである。つまり、各シリコンウエハ 1 A, 1 B, 1 C, 1 D のそれぞれについて、それぞれ 2 枚ずつ用意した。各シリコンウエハ 1 A, 1 B, 1 C, 1 D は、製造工程の異なるウエハである。

【0028】

図 1 中の黒丸は、50 mA / cm² の場合を、図 1 中の白い四角は、170 mA / cm² の場合をそれぞれ示す。酸化膜の厚みは 25 nm を目標としている。電極面積は 1 mm² である。図 2 から、シリコンウエハ 1 C の性能が最も良いことがわかる。

【0029】

図 3 は、各シリコンウエハ 1 A 1, 1 A 2, 1 B 1, 1 B 2, 1 C 1, 1 C 2, 1 D 1, 1 D 2 について、T Z D B を測定した結果を示す。電極面積は 10 mm² である。測定ポイントの数は 126 個である。図 3 中の黒丸は 90% E b d を、図 3 中の白い四角は 10% E b d を、それぞれ示す。縦軸の破壊電界値 E b d は、酸化膜 2 の厚さで規格化された値である。図 3 から、シリコンウエハ 1 C の性能が最も低いことがわかる。つまり、図 2 に示す T D D B による評価結果と、図 3 に示す T Z D B による評価結果とが異なっている。なお、1 D 1, 1 D 2 の 10% E b d は、それぞれ図 3 に示すグラフの下限值 11 MV / cm よりも低いため、図示されていない。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 0 】

T Z D Bでは、I - V特性の測定以外に、C - V特性（容量 - 電圧特性）による酸化膜の厚み測定も行っている。また、T Z D Bでは、破壊電界値もF - N（Fowler-nordheim）フィッティングから求めるという複雑な方法を用いている。そこで、本発明者は、まず、シリコンウエハ1 Aと1 Cについて、そのI - V特性を比較することを試みた。その結果を図4に示す。図4では、電圧値を酸化膜の厚み（以下、酸化膜厚または $T o x$ ）で規格化してある。

【 0 0 3 1 】

図3は、T Z D Bの1 2 6個の測定ポイントのうち、ある共通のポイントにおけるI - V特性を比較したものである。図3中に表記されている $T o x$ は、C - V特性の測定結果から得られた値であり、横軸の電界強度を求めるのに利用している。

10

【 0 0 3 2 】

酸化膜厚補正を行うと、7 M V / c m付近からの電流の立ち上がり位置が、シリコンウエハ1 Aとシリコンウエハ1 Cとでほぼ一致すると期待される。しかし、実際には、図4のグラフからわかるように、酸化膜厚補正を行っても、シリコンウエハ1 Cの特性線はシリコンウエハ1 Aの特性線よりも低電界側にずれている。電流の立ち上がり位置が低電界にシフトすると、破壊電界値は低くなる。従って、図4に示す電流 - 電圧（電界）のずれが、T Z D Bにおいて、シリコンウエハ1 Cの低評価の原因であると予想できる。

【 0 0 3 3 】

ここで、本発明者は、図4に示すI - Vのずれが、酸化膜厚の測定結果のずれに起因する可能性を検討した。そこで、酸化膜厚のずれ量を見積もるために、シリコンウエハ1 Aの酸化膜厚の値を真とし、図4に示すI - V特性からシリコンウエハ1 Cの酸化膜厚を見積もった。つまり、I - V特性のずれに基づいて、シリコンウエハ1 Cの酸化膜厚を逆算した。逆算された酸化膜厚に基づいて修正したグラフを図5に示す。

20

【 0 0 3 4 】

図5に示すように、シリコンウエハ1 Aとシリコンウエハ1 Cとで、電流の立ち上がり位置を揃えるためには、シリコンウエハ1 Cの酸化膜厚を2 3 . 8 8 n mから2 2 . 6 0 n mに変更する必要がある。最初の膜厚2 3 . 8 8 n mは、上述の通り、C - V特性の測定結果に基づく値である。

【 0 0 3 5 】

図5の結果に基づいて、シリコンウエハ1 Cの破壊電界値を求める際に利用した酸化膜厚を全て1 n mずつ少なくして再計算すると、9 0 % E b dは1 2 . 8 4 [M V / c m]となる。この修正された値は、シリコンウエハ1 Aの破壊電界値1 2 . 4 8 [M V / c m]よりも高く、良い結果を示す。つまり、T Z D B及びT D D Bの両方で、シリコンウエハ1 Cの評価がそれぞれ最も高くなり、T D D BとT Z D Bとで結果が異なるという最初の疑問が解消する。

30

【 0 0 3 6 】

従って、T D D BとT Z D Bとで結果が異なったのは（図4）、C - V特性の測定に基づく酸化膜厚の値が間違っていたために生じた問題であり、実際の酸化膜厚は、C - V特性の測定結果に基づく値よりも1 n m程度少ないと考えることもできる。

40

【 0 0 3 7 】

しかし、比較のために用意されたシリコンウエハ1 A , 1 Cは、同一のバッチ処理により、酸化膜を成長させており、かつ、シリコンウエハ1 Aのスロット位置とシリコンウエハ1 Cのスロット位置とは、隣同士である。このように同一バッチで、しかも、ウエハの装填位置が非常に近い場合において、酸化膜厚が1 n mも異なるとは考えにくい。さらに、C - V特性の測定に基づく酸化膜厚が間違っていると考えるのも難しい。

【 0 0 3 8 】

そこで、本発明者は、図6（b）に示すように、シリコンウエハ1 Aとシリコンウエハ1 Cとで特性が異なることを説明するためのモデルを用意した。

【 0 0 3 9 】

50

そのモデルは、次の条件を満たす。

- (1) シリコンウエハ 1 C の酸化膜は、2 層構造になっている。
- (2) 2 層構造のうち、1 nm 程度の層は、固定電荷の存在する粗悪な層である。
- (3) 粗悪な層以外の部分は、良い酸化膜であり、シリコンウエハ 1 A の酸化膜よりむしろ良い特性を有する。
- (4) 粗悪な層は、シリコン側ではなく、電極側に存在する。
- (5) 2 層構造であるが、C - V 特性の測定では単一層とみなされてしまう。

【0040】

図 6 は、酸化膜の構造を概念的に示す説明図である。図 6 (a) は、酸化膜 2 が単一の層から形成されている場合を示す。図 6 中の左側は電極 3 側であり、図 6 中の右側がシリコンウエハ本体の側である。シリコンウエハ側がアノード（陽極）である。

10

【0041】

図 6 (b) は、本発明者の知見によって提案される酸化膜の構造を示す。このモデルでは、酸化膜 2 は、通常の層 2 A と粗悪な層 2 B との 2 層構造となっている。粗悪な層 2 B には、プラスの固定電荷が多数存在しているため、粗悪な層と呼ばれる。プラスの固定電荷が存在すると、その領域のポテンシャルが下がり、図 6 (b) の上左側に示すように、急峻な状態（つまり、電界が強くなる状態）となる。従って、酸化膜に印加される電圧 V_g の値が同一の場合であっても、図 6 (a) に示す酸化膜に比べて、図 6 (b) に示す 2 層構造の酸化膜の方が、より多くの F - N 電流が流れる。即ち、図 4 において、電流の立ち上がり位置が低電界側にシフトしているように見え、T Z D B においてシリコンウエハ 1 C の特性が低くなった理由を説明することができる。

20

【0042】

F - N 電流の式を下記数 1 に示す。E は電界 (V / c m) である。

【数 1】

$$J = A \cdot E^2 \exp(-B/E)$$

【0043】

次に、図 6 (b) に示すバンド図になることを確かめるべく、あるプラスの固定電荷を仮定し、酸化膜中の電位分布をポアソン方程式を解いて求める。まず、粗悪な層の電位分布を $\phi_1(x)$ 、通常の酸化膜層の電位分布を $\phi_2(x)$ とした。そして、粗悪な層の領域にのみ電荷が存在するとし、 $Q = 4.14 [C/cm^3]$ の値を用いた。粗悪な層の厚みは、実験結果から約 1 [nm] とした。 ϵ_0 は真空誘電率であり、その値は $8.854 E^{-12} [F/m]$ である。 ϵ_{Tox} は酸化膜の比誘電率であり、その値は $3.9 [F/m]$ である。

30

【0044】

$0 < x < L$ ($L = 1 \text{ nm}$) ; $Q(x) = Q$ のとき、数 2 を得る。

【数 2】

$$\frac{d^2 \phi_{1(x)}}{dx^2} = - \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon_{Tox}}$$

40

【0045】

$x > L$; $Q(x) = 0$ のとき、数 3 を得る。

【数 3】

$$\frac{d^2 \phi_{2(x)}}{dx^2} = 0$$

【0046】

境界条件は、下記数 4 に示す通りである。

50

【数 4】

$$\phi_{1(0)} = V$$

$$\phi_{2(G)} = 0$$

$$\frac{d\phi_{1(L)}}{dx} = \frac{d\phi_{2(L)}}{dx}$$

$$\phi_{1(L)} = \phi_{2(L)}$$

10

【0047】

なお、 $G = 2.3$ [nm] ; 酸化膜厚である。この条件で、ポアソン方程式を解いた結果を下記数 5、数 6 に示す。

【数 5】

$$\phi_{1(x)} = -\frac{Q}{2\varepsilon_0\varepsilon_{\text{Tox}}}x^2 + \left(-\frac{Q}{2G\varepsilon_0\varepsilon_{\text{Tox}}}L^2 + \frac{Q}{\varepsilon_0\varepsilon_{\text{Tox}}}L - \frac{V}{G}\right)x + V$$

【数 6】

$$\phi_{2(x)} = \left(-\frac{Q}{2G\varepsilon_0\varepsilon_{\text{Tox}}}L^2 - \frac{V}{G}\right)(x - G)$$

20

【0048】

ポアソン方程式を解き、酸化膜中の電位分布をグラフ化したものを図 7 に示す。図 7 において、 V は、実際にはマイナス 20 ボルトであるが、グラフを見やすくするためにプラス 20 ボルトとした。これに合わせて、 $Q = -4.14$ [C/cm³] とした。

【0049】

図 7 は、電極側に存在すると予測されるプラスの電荷を考慮した場合の電位分布を示すグラフである。横軸は、電極と酸化膜との界面からの距離である。酸化膜の厚み G が約 2.3 nm なので、2.3 nm で電位が 0 となるようにしてある。

30

【0050】

点線は、上記の条件で計算した結果を示している。つまり、粗悪な層（プラスの固定電荷を有する薄い層）が、酸化膜内における電極側の 1 nm の領域に存在する場合を、点線で示す。実線は、粗悪な層が酸化膜内におけるシリコンウエハ側の 1 nm の領域に存在する場合を示す。

【0051】

図 7 の上側に示すグラフでは点線と実線の相違がわからないため、図 7 の下側に、1 nm の範囲の電位分布を拡大したグラフを示す。なお、プラスの固定電荷が全く存在しない場合の特性線は、粗悪な層がシリコンウエハ側に存在すると仮定した場合の特性線とほぼ一致する。

40

【0052】

この拡大されたグラフからわかるように、電極側に粗悪な層がある場合は、シリコン側に粗悪な層がある場合及び固定電荷が存在しない場合と比べて、電界の傾きが急峻となっている。

【0053】

1 nm の層の真ん中 0.5 nm の位置の電界強度を計算して比較すると、プラスの固定電荷がある場合は $E = 9.3$ [MV/cm]、固定電荷が一切ない場合が $E = 8.7$ [MV/cm] となり、約 0.6 [MV/cm] の差が生じる。

【0054】

50

この差異は、図4に示す差異とほぼ同一である。また、シリコン側に粗悪な層がある場合は、粗悪な層が無い場合とほぼ同様であるから、通常バイアスを印加した場合、F - Nトンネルに与える影響は、非常に小さい。

【0055】

本発明者は、実際に粗悪な層が電極側にあることを確かめるべく、通常とは逆に、シリコン側を陰極にした逆バイアスをかける実験を行った。逆バイアスをかけた場合、電極側にある粗悪な層は、ポテンシャルが高い領域から遠ざかることになるので、図7の実線で示す特性線と同様になるはずである。つまり、電流 - 電圧特性のずれは、殆ど生じないはずである。

【0056】

通常バイアスと逆バイアスをかけた場合の電流 - 電圧特性の比較を図8に示す。なお、理解のために、バイアスの極性は絶対値表示にして揃えてある。シリコンウエハ1Aに逆バイアスをかけた場合の特性線を1A(R)、シリコンウエハ1Cに逆バイアスをかけた場合の特性線を1C(R)としてそれぞれ示す。

【0057】

図8を見て分かるように、通常とは逆のバイアス、つまり、シリコン側を陰極にすると、1A(R)におけるF - N電流の立ち上がり位置と1C(R)における立ち上がり位置との差異が非常に小さい。この結果は、上述したモデルの正しさを裏付ける。即ち、プラスの固定電荷を多く含む、厚さ1nm程度の粗悪な層は、電極側に存在していると考えられることができる。

【0058】

以上の考察をまとめると、以下のことが言えるであろう。まず、シリコンウエハ1には、プラスの固定電荷を多数有する粗悪な層が存在する可能性がある。今回検出された粗悪な層は、約1nm程度の薄い層であり、この粗悪な層は、C - V測定で検出することはできない。しかし、I - V特性の測定においては、F - N電流の立ち上がりの位置がずれるという形で観測される。そのため、TZDBでは悪い評価結果となる。

【0059】

但し、粗悪な層を除いた他の部分は問題なく、TDDBや粗悪な層を除いた後のTZDBでは、シリコンウエハ1Cの方がシリコンウエハ1Aよりも良い結果を得た。

【0060】

さらに、本発明者は、上記モデルの仮説を検証するために、実際に試験を行った。I - V特性の測定値が予定の基準値からずれたシリコンウエハの表面に犠牲酸化膜を成長させ、その犠牲酸化膜を除去して洗浄し、I - V特性を再び測定した。その結果、図10に示すように、I - V特性における電流の立ち上がり位置にずれがほぼなくなったことを確認した。

【0061】

以上の知見から得られる本発明に特有の方法について、図9のフローチャートを参照しながら説明する。以下、測定者が実施する手順としてフローチャートを説明するが、本発明はこれに限らず、その全部または一部を自動化することができる。

【0062】

まず、測定者は、同一ロットあるいは同一バッチの中から任意の一枚のベアシリコンウエハ1を抜き取り(S20)、そのシリコンウエハ1にMOSを作成する(S21)。測定者は、酸化膜厚(Tox)の値で補正した上でI - V特性を測定し(S22)、予め算出される基準値と測定値とが一致するか否かを判定する(S23)。

【0063】

S22で得た測定値と基準値とが一致する場合(S23:YES)、測定者は、測定対象のシリコンウエハ1が良品であると判定し、同一ロットあるいは同一バッチ内の各シリコンウエハ1を出荷工程に送り出す。測定に使用されたシリコンウエハ1は出荷することができないため、廃棄またはリサイクル工程に送られる。

【0064】

10

20

30

40

50

基準値と測定値とが不一致の場合 (S23:NO)、つまり、I - V特性における電流の立ち上がり位置にずれが生じている場合、測定者は、基準値と測定値とが不一致であると判定されたシリコンウエハ1と同一バッチあるいは同一ロットの別のシリコンウエハ1に犠牲酸化膜を成長させて除去する (S25)。粗悪な層を除去できる方法であれば、犠牲酸化膜の成長及び除去に限定されない。例えば、洗浄処理によって粗悪な層を取り除くことができる場合は、洗浄すればよい。

【0065】

測定者は、犠牲酸化膜の成長及びその除去がされたシリコンウエハ1に再びMOSを作成し (S26)、I - V特性を測定し (S27)、再測定値と基準値とが一致するか否かを判定する (S28)。基準値と再測定値とが一致する場合 (S28:YES)、測定者は、同一ロットあるいは同一バッチの他の各シリコンウエハ1について、犠牲酸化膜を成長させた後、その犠牲酸化膜を除去する (S29)。

10

これにより、同一ロットあるいは同一バッチ内の他の各シリコンウエハ1から粗悪な層が取り除かれ、正常な性能を発揮する。従って、測定者は、性能が回復された各シリコンウエハ1を、出荷工程に送り出す (S29)。

【0066】

これに対し、再測定値と基準値とが不一致の場合 (S28:NO)、測定者は、測定対象のシリコンウエハ1及び同一ロットあるいは同一バッチ内の各シリコンウエハ1は、性能を回復できない不良品であると判定する (S30)。不良品であると判定された各シリコンウエハ1は、廃棄工程またはリサイクル工程に送られる。

20

【0067】

このように構成される本実施例では、本発明者による新たな知見に基づいて、本発明に特有のモデル (図6 (b)) を仮定し、そのモデルの正しさを理論及び実験の両方から確かめることに成功した。

【0068】

従って、本実施形態によれば、I - V特性の結果に基づいて、シリコンウエハ1の電気的特性を適切に評価することができる。また、本実施例では、一回目の判定結果が悪い場合でも直ちに不良品であると判定せずに、性能を回復させるための所定処理 (例えば、犠牲酸化膜の成長及び除去) を実施する。従って、材料を効率的に使用することができ、シリコンウエハ1の歩留まりを高めて製造コストを低減できる。

30

【実施例2】

【0069】

図11に基づいて第2実施例を説明する。以下に述べる各実施例は、第1実施例の変形例に相当する。従って、第1実施例との相違点を中心に説明する。本実施例では、シリコンウエハ1の評価結果に基づいて製造工程MPを評価する。

【0070】

図11は、本実施例による評価方法を示すフローチャートである。最初の判定において測定値と基準値とが一致する場合 (S23:YES)、製造工程MPには、第1の評価値が与えられる (S31)。第1の評価値は、例えば「良」や「A」のように、良い結果であることを示す値である。

40

【0071】

性能を回復するための所定処理 (S25) を行った後の判定において、再測定値と基準値とが一致する場合 (S28:YES)、製造工程MPには、第2の評価値が与えられる。第2の評価値は、例えば「注意」や「B」のように、第1の評価値よりも低い結果であることを示す値である。

【0072】

所定処理を実施したにもかかわらず、再測定値と基準値とが不一致の場合 (S28:NO)、製造工程MPには、第3の評価値が与えられる。第3の評価値は、例えば「不可」や「C」のように、第2の評価値よりも低い結果であることを示す値である。

【0073】

50

このように構成される本実施例も第1実施例と同様の効果を奏する。さらに、本実施例では、シリコンウエハ1の特性評価の結果に基づいて製造工程MPを評価できるため、製造工程の改善や安定化等に役立たせることができる。

【実施例3】

【0074】

図12に基づいて第3実施例を説明する。本実施例では、I-V特性を評価する前に、TDDBを実施する(S16~S19)。このTDDBは、「所定の別の試験」に該当する。

【0075】

測定者は、ロットあるいは同一バッチから任意の1枚のシリコンウエハ1を抜き取り(S16)、TDDB法を用いて測定する(S17)。測定者は、TDDBによる測定の結果、良品であるか否かを判定する(S18)。不良品の場合(S18:NO)、そのロットあるいはバッチ内の各シリコンウエハ1は、出荷が停止される(S19)。

【0076】

TDDBによる判定結果が良品の場合(S18:YES)、測定者は、第1実施例で述べたように、I-V特性のずれの有無を調べ(S21~S23)、ずれが有る場合には、所定処理(S25)を行う。

【0077】

このように構成される本実施例も第1実施例と同様の効果を奏する。さらに、本実施例では、別の試験方法(例えば、TDDB)と組み合わせることにより、より一層適切にシリコンウエハ1の電気的特性を評価することができる。

【0078】

なお、本発明は、上述した各実施例に限定されない。当業者であれば、本発明の範囲内で、種々の追加や変更等を行うことができる。また、第3実施例では、I-V特性を評価する前にTDDBを実施する場合を述べたが、TDDBに代えてTZDBを実施する構成としてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0079】

【図1】本発明の実施例の全体概要を示す説明図。

【図2】種類の異なるシリコンウエハに関するTDDBの結果を示すグラフ。

【図3】種類の異なるシリコンウエハに関するTZDBの結果を示すグラフ。

【図4】I-V特性にずれが生じる様子を示すグラフ。

【図5】演算に用いる酸化膜を修正してI-V特性を書き直したグラフ。

【図6】酸化膜の電位分布を示す模式図であり、(a)はプラスの固定電荷が生じていない場合を、(b)はプラスの固定電荷を有する粗悪な層が形成されている場合をそれぞれ示す。

【図7】プラスの固定電荷を考慮した場合の酸化膜の電位分布を示すグラフ。

【図8】逆方向にバイアスをかけた場合と通常のバイアスをかけた場合とを比較するグラフ。

【図9】シリコンウエハの特性を評価する処理を示すフローチャート。

【図10】性能回復のための所定処理を施すとI-V特性のずれが解消することを示すグラフ。

【図11】第2実施例に係る評価方法のフローチャート。

【図12】第3実施例に係る評価方法のフローチャート。

【符号の説明】

【0080】

1、1A、1B、1C、1D：シリコンウエハ、2：酸化膜、2A：正常な酸化膜の層、2B：粗悪な層、3：電極、4：電源装置、5：電流計、MP：製造工程、PL：ロット

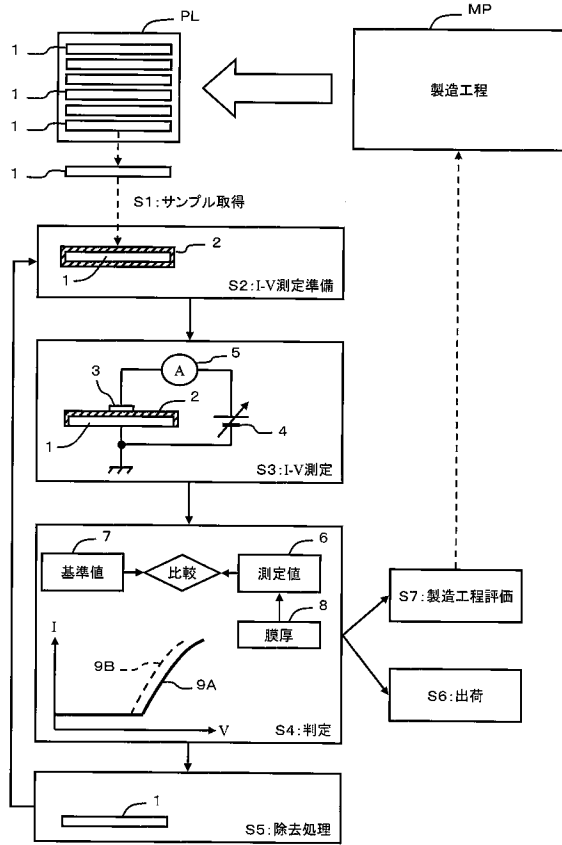
10

20

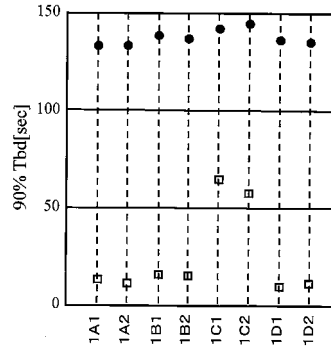
30

40

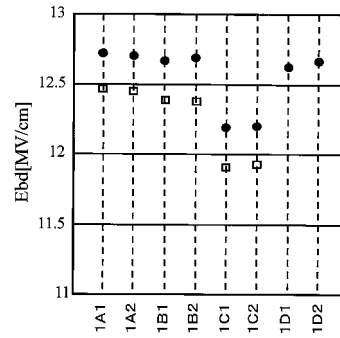
【図1】



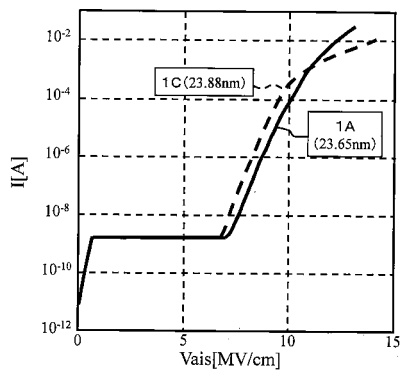
【図2】



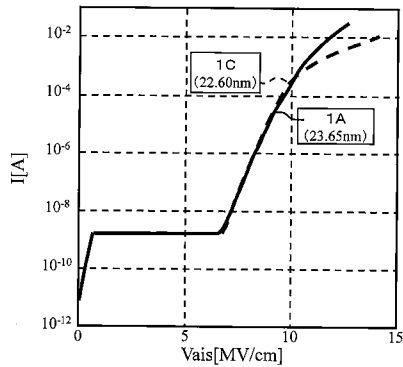
【図3】



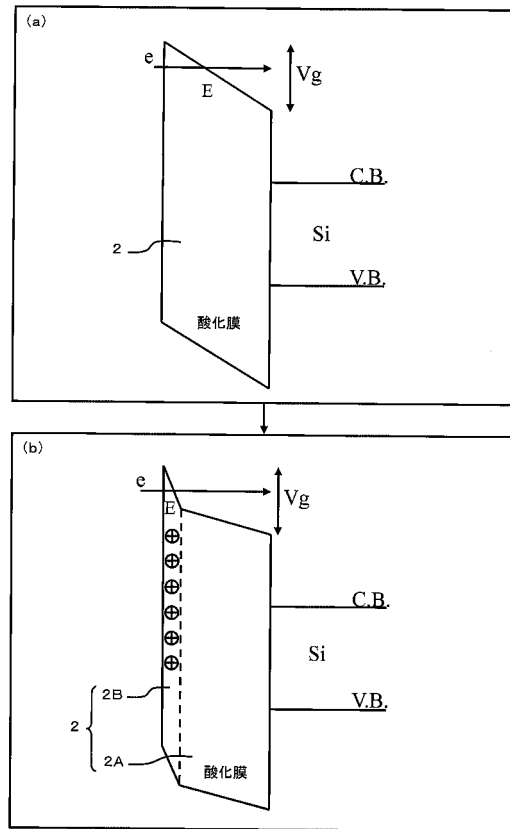
【図4】



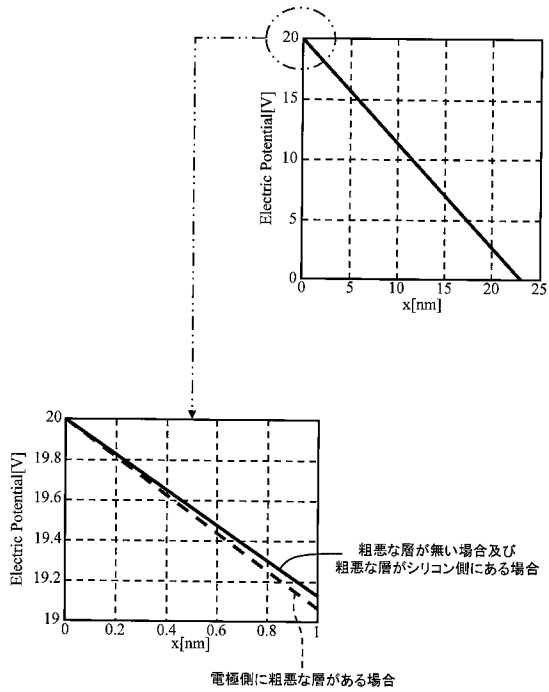
【図5】



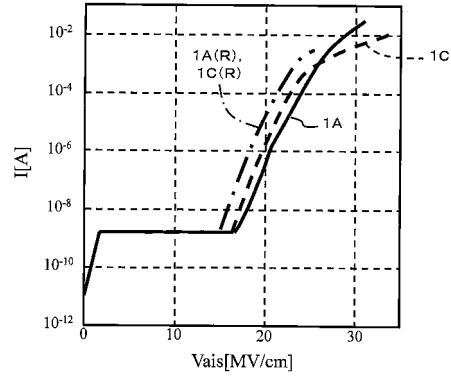
【図6】



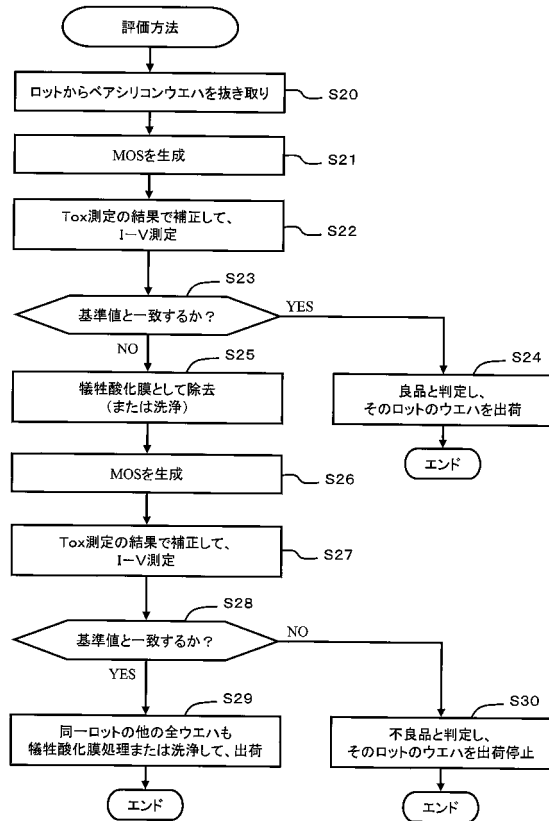
【 図 7 】



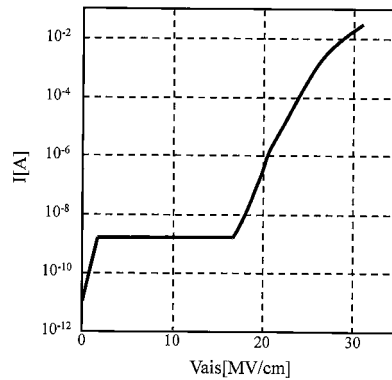
【 図 8 】



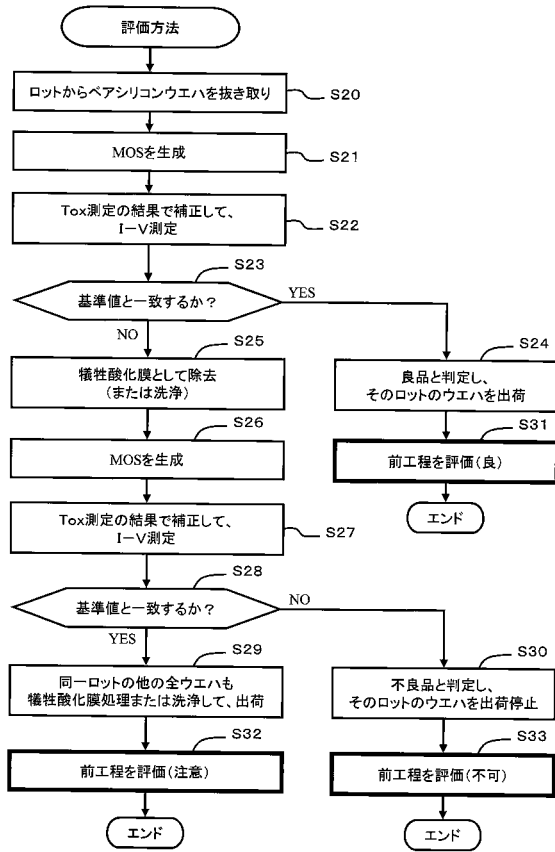
【 図 9 】



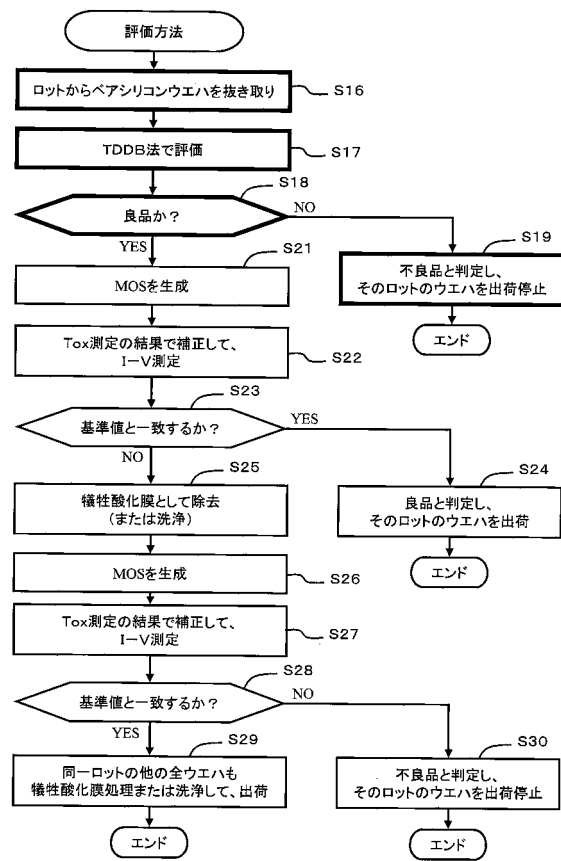
【 図 10 】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭60-136323(JP,A)
特開2002-198410(JP,A)
特開2003-229493(JP,A)
実開平04-024079(JP,U)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/66
G01R 31/26
H01L 21/336