

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6164065号
(P6164065)

(45) 発行日 平成29年7月19日 (2017.7.19)

(24) 登録日 平成29年6月30日 (2017.6.30)

(51) Int.Cl.

F I

G O 1 L 1/00 (2006.01)

G O 1 L 1/00 M

G O 6 F 17/50 (2006.01)

G O 6 F 17/50 6 1 2 J

請求項の数 5 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2013-247792 (P2013-247792)
 (22) 出願日 平成25年11月29日 (2013.11.29)
 (65) 公開番号 特開2015-105866 (P2015-105866A)
 (43) 公開日 平成27年6月8日 (2015.6.8)
 審査請求日 平成28年8月4日 (2016.8.4)

(73) 特許権者 000005223
 富士通株式会社
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号
 (74) 代理人 100091672
 弁理士 岡本 啓三
 (72) 発明者 添田 武志
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号 富士通株式会社内
 審査官 森 雅之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 応力評価方法及び応力評価装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

構造物を研磨又は研削して端面を形成し、その端面の表面変位を測定して表面変位像を取得する第1の工程と、

前記端面における前記構造物の構成要素の輪郭を判別するための構造像を取得する第2の工程と、

前記第1の工程及び前記第2の工程を繰り返し実施することにより得た複数の前記表面変位像を3次元再構築して3次元弾性変形像を生成し、複数の前記構造像を3次元再構築して構造モデルを生成する工程と、

前記構造モデルの所定の位置に応力を仮想的に印加して評価領域の弾性変形分布を計算し、その計算結果が前記3次元弾性変形像から得られる弾性変形分布と一致するように前記応力を変更して解となる応力値を探索する工程と

を有することを特徴とする応力評価方法。

【請求項 2】

前記表面変位像を、走査プローブ顕微鏡及び走査レーザ変位計のいずれかにより取得することを特徴とする請求項1に記載の応力評価方法。

【請求項 3】

前記構造像を、走査プローブ顕微鏡、走査電子顕微鏡、走査レーザ顕微鏡及び光学顕微鏡のいずれかにより取得することを特徴とする請求項1又は2に記載の応力評価方法。

【請求項 4】

10

20

前記応力値を探索する工程では、前記評価領域を複数設定し、各評価領域で弾性変形分布を計算することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の応力評価方法。

【請求項 5】

構造物の複数の端面における表面変位像のデータセットと、各端面の構造像のデータセットとを記憶する記憶部と、

前記表面変位像のデータセットを 3 次元再構築して 3 次元弾性変形像を生成し、前記構造像のデータセットを 3 次元再構築して構造モデルを生成し、前記構造モデルの所定の位置に応力を仮想的に印加して評価領域の弾性変形分布を計算する制御部と

を有することを特徴とする応力評価装置。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、応力評価方法及び応力評価装置に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体材料、絶縁材料及び金属材料などの多種類の材料を用いて製造される半導体デバイスは、材料間の熱膨張率の違いや原子配列の乱れなどにより、複雑な歪み分布をもつ。この歪み分布は、半導体デバイスの電気特性に大きな影響を及ぼす。

【0003】

製造工程などで不可避免的に導入される歪みは、半導体デバイスの性能劣化の原因となることがある。一方、半導体デバイスの所定の領域に歪みを積極的に導入して、半導体デバイスの電気特性の向上を図ることもある。

20

【0004】

これらのことから、歪み又は歪みの原因となる応力を定量的に評価することは、高性能の半導体デバイスを製造する上で重要である。

【0005】

半導体デバイスの微小領域の歪みは、X線回折法、ラマン分光法及び電子回折法等により測定することができる。X線回折法及びラマン分光法はサブミクロンオーダーの平均的な歪みを測定できる。しかし、これらの方法では、プローブ径が大きいので、ナノメートルオーダーの局所的な歪みの測定に適用することが困難である。

30

【0006】

ナノメートルオーダーの局所的な歪みの測定には、電子回折法が使用される。電子回折法には、電子回折スポット又はHOLZ (High-order Laue zone) 線の移動量から格子定数の変化量を測定する方法と、HOLZ線の分裂幅又はZOLZ (Zeroth-order Laue zone) 図形の幾何模様の変化量から試料の湾曲量を測定する方法とがある。

【0007】

以下、ZOLZ図形の幾何模様をZOLZ模様という。また、電子回折スポット又はHOLZ線の移動量から格子定数の変化量を測定する方法を第1の方法と呼び、HOLZ線の分裂幅又はZOLZの幾何模様の変化量から試料の湾曲量を測定する方法を第2の方法と呼ぶ。

40

【0008】

第1の方法は、測定領域が歪み源に対称的に挟まれ、結晶格子が均一に歪んでいる場合に有効である。しかし、この方法では、歪み源が測定領域の一方の側のみにあって結晶格子の歪みが均一でない場合は、歪み量を精度よく測定することができない。このため、第1の方法を半導体デバイスに導入される歪みの評価に使用することは困難である。

【0009】

一方、第2の方法は、測定領域の一方の側から歪みの影響を受ける場合にも有効であり、半導体デバイスに導入される歪みの評価に使用されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

50

【 0 0 1 0 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 1 - 2 7 6 1 9 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 7 - 9 3 3 4 4 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 0 9 - 2 7 4 8 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 1 】

半導体デバイス又はその他の構造物内の歪みの原因となる応力を高精度に評価できる応力評価方法及び応力評価装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

10

【 0 0 1 2 】

開示の技術の一観点によれば、構造物を研磨又は研削して端面を形成し、その端面の表面変位を測定して表面変位像を取得する第 1 の工程と、前記端面における前記構造物の構成要素の輪郭を判別するための構造像を取得する第 2 の工程と、前記第 1 の工程及び前記第 2 の工程を繰り返し実施することにより得た複数の前記表面変位像を 3 次元再構築して 3 次元弾性変形像を生成し、複数の前記構造像を 3 次元再構築して構造モデルを生成する工程と、前記構造モデルの所定の位置に応力を仮想的に印加して評価領域の弾性変形分布を計算し、その計算結果が前記 3 次元弾性変形像から得られる弾性変形分布と一致するように前記応力を変更して解となる応力値を探索する工程とを有する応力評価方法が提供される。

20

【 0 0 1 3 】

開示の技術の他の一観点によれば、構造物の複数の端面における表面変位像のデータセットと、各端面の構造像のデータセットとを記憶する記憶部と、前記表面変位像のデータセットを 3 次元再構築して 3 次元弾性変形像を生成し、前記構造像のデータセットを 3 次元再構築して構造モデルを生成し、前記構造モデルの所定の位置に応力を仮想的に印加して評価領域の弾性変形分布を計算する制御部とを有する応力評価装置が提供される。

【発明の効果】

【 0 0 1 4 】

上記の一観点に係る応力評価方法及び応力評価装置によれば、半導体デバイス又はその他の構造物内の歪みの原因となる応力を高精度に評価できる。

30

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 5 】

【図 1】図 1 (a) は歪み源がないトランジスタの断面トポグラフィ像であり、図 1 (b) は歪み源があるトランジスタの断面トポグラフィ像である。

【図 2】図 2 (a) は図 1 (a) の断面トポグラフィ像に対し有限要素法を適用した図であり、図 2 (b) は図 1 (b) の断面トポグラフィ像に対し有限要素法を適用した図である。

【図 3】図 3 は、実施形態に係る応力評価方法を説明するための概念図である。

【図 4】図 4 は、実施形態に係る応力評価方法を示すフローチャートである。

【図 5】図 5 は、F E M 構造モデルの一例を示す図である。

40

【図 6】図 6 は、評価試料の (1 0 0) 面を露出させたときの弾性変形分布の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 6 】

以下、実施形態について説明する前に、実施形態の理解を容易にするための予備的事項について説明する。

【 0 0 1 7 】

前述したように、H O L Z 線の分裂幅や Z O L Z 模様の変化量から試料の湾曲量を測定する第 2 の方法は、測定領域の一方の側から歪みの影響を受ける場合にも有効であり、半導体デバイスに導入される歪みの評価に使用されている。しかし、この第 2 の方法にも、

50

以下に示す問題がある。

【 0 0 1 8 】

すなわち、第2の方法は、H O L Z線やZ O L Z模様が物理的に現れない1 0 0 nm以下の構造や、電子線が透過しない1 μ m以上の厚い試料には適用できない。また、H O L Z線の分裂やZ O L Z模様の変化は結晶格子の様な湾曲を前提にしているので、結晶格子の様な湾曲が期待できない複雑な構造に第2の方法を適用することはできない。更に、H O L Z線やZ O L Z模様は結晶性に起因するので、第2の方法をアモルファスに適用することはできない。

【 0 0 1 9 】

これらの理由により、半導体デバイスの構造が複雑な場合、従来は電子線の透過方向に沿って単一とみなせる結晶領域だけを局所的に切り出して評価試料としていた。しかし、これでは半導体デバイスの所望の領域の歪みを精度よく評価することができない。

10

【 0 0 2 0 】

以下の実施形態では、半導体デバイス又はその他の構造物内の歪みの原因となる応力を高精度に評価できる応力評価方法及び応力評価装置について説明する。

【 0 0 2 1 】

(実施形態)

図1 (a) は歪み源がないトランジスタの断面トポグラフィ像であり、図1 (b) は歪み源があるトランジスタの断面トポグラフィ像である。また、図2 (a) は図1 (a) の断面トポグラフィ像に対し有限要素法 (Finite Element Method : F E M) を適用した図であり、図2 (b) は図1 (b) の断面トポグラフィ像に対し有限要素法を適用した図である。

20

【 0 0 2 2 】

図1 (a) , (b) からわかるように、歪み源がない場合はシリコン基板の断面が平坦であるのに対し、シリコン基板の表面に歪み源となるシリサイド (C o S i x) がある場合はシリコン基板の断面に盛り上がりが見られる。

【 0 0 2 3 】

これらの状態を有限要素法で再現計算すると、図2 (a) , (b) に示すように、歪み源によりシリコン基板の表面が引っ張られていることがわかる。

【 0 0 2 4 】

30

通常、この種の歪みは内部応力として存在し、表面化することはない。しかし、半導体デバイスに対し研磨又は研削等の加工 (以下、単に「研磨」ともいう) を施して新しい面を表面に出すと、潜在していた応力が開放されて、表面変位の変化として表れる。この表面変位の変化を走査プローブ顕微鏡 (Scanning Probe Microscope : S P M) 又は走査レーザ変位計などを用いて取得して、表面変位像とする (第1の工程) 。

【 0 0 2 5 】

以下、試料に対し研磨を施すことにより表面に現れた面を、端面という。また、新たな端面を形成する工程を、端面形成工程という。

【 0 0 2 6 】

表面変位像を取得する工程では、評価領域の面積に応じて走査プローブ顕微鏡とレーザ変位計とを使い分けることが好ましい。例えば、評価面積が数 μ m² 以下ならば走査プローブ顕微鏡を使用し、それ以上ならば走査レーザ変位計を使用する。走査プローブ顕微鏡を使用する場合、プローブは試料に接触してもよく、非接触でもよい。

40

【 0 0 2 7 】

一方、端面形成工程では、集束イオンビーム (Focused Ion Beam : F I B) 法、機械研磨法又はC M P (Chemical Mechanical Polishing) 法などを使用する。これらの方法も、加工面積に応じて使い分ければよい。例えば加工面積が数 μ m² 以下ならば集束イオンビーム法を使用し、それ以上ならば機械研磨法又はC M P 法を使用する。

【 0 0 2 8 】

研磨の方向は、[1 0 0] や [1 1 0] などの方位には限定されず、任意でよい。研磨

50

量は評価領域中の最小構造サイズに応じて決めればよい。例えば半導体デバイスのトランジスタ周辺の応力分布を評価する場合は、ゲート長やゲート幅の1/10を目安に研磨量を設定することが好ましい。

【0029】

本実施形態では、端面形成工程と表面変位像を取得する工程とを交互に繰り返し行うことで、表面変位像のデータセット（各端面の表面変位像のデータ）を得る。そして、表面変位像のデータセットを3次元再構築することで、3次元弾性変形像（応力緩和像）を得る。表面変位像のデータセットを3次元再構築する方法は任意であるが、指定したカット面での画像を表示可能なサーフェスレンダリングが推奨される。

【0030】

一方、表面変位像を取得する際に、各構成要素の輪郭を判別するための画像（以下、「構造像」という）を撮影しておくことで、表面変位像のデータセットとは異なる構造像のデータセットを取得する（第2の工程）。

【0031】

構造像の撮影には走査プローブ顕微鏡を使用してもよく、走査電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope：SEM）、走査レーザ顕微鏡、又は光学顕微鏡などを使用してもよい。走査プローブ顕微鏡を使用する場合は、表面変位像から高さ成分を除いた像を使用する。構造像のデータセットを3次元再構築することで、有限要素法を適用するための構造モデル（以下、「FEM構造モデル」という）が得られる。

【0032】

3次元CAD（Computer Aided Design）図から構造像を生成してもよい。しかし、応力計算の精度を向上させるには、構造像として、実際に撮影した端面の像を用いることが好ましい。

【0033】

このようにして構築されたFEM構造モデルに対し、歪み源の可能性のある構成要素を指定し、その構成要素に仮想的に応力を印加することで、応力が印加されたときの評価領域の変位を計算できる。そして、その計算結果を3次元弾性変形像から得られる評価領域の変位と照合し、計算結果が3次元弾性変形像から得られる評価領域の変位と一致するまで構成要素に印加する応力を変化させて、評価領域の変位の計算を繰り返す。

【0034】

以下、FEM構造モデルを使用して計算した評価領域の変位を弾性変形分布の計算値と呼び、3次元弾性変形像から得られる評価領域の変位を弾性変形分布の実測値と呼ぶ。

【0035】

例えば、半導体デバイスのコンタクト材料部に印加する応力Xと配線材料部に印加する応力Yとをそれぞれ微小量（X、Y）ずつ変化させて構造計算し、評価領域の弾性変形分布を算出する。そして、弾性変形分布の算出値と実測値とを照合して、それらの差分が最小となる応力X、Yを探索する。探索されたX、Yは、コンタクト材料部及び配線材料部に実際に印加された応力、すなわち解とみなすことができる。

【0036】

弾性変形分布の算出値と実測値との照合は、3次元弾性変形像から抽出した任意のカット面（評価領域）での表面変位像で行う。照合のアルゴリズムは、弾性変形分布の算出値と実測値との差分を最小化するものであればよく、特定のアルゴリズムに限定されない。

【0037】

例えば、ある一本の法線に垂直な端面での差分だけを評価する場合はSIMPLEX法を使用し、複数の法線にそれぞれ垂直な端面での差分を評価する場合は遺伝的アルゴリズムなどを使用する。前者には単目的の数値最適化アルゴリズムを使用し、後者には多目的の数値最適化アルゴリズムを使用するとよい。

【0038】

このようにして、任意のカット面（評価領域）の弾性変形分布と、歪み源にかかる応力の値とを求めることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 9 】

以下、本実施形態に係る応力評価方法について、図 3 の概念図を参照してより詳細に説明する。

【 0 0 4 0 】

本実施形態に係る応力評価方法では、集束イオンビーム装置 (Focused Ion Beam : F I B) 1 2 と、走査プローブ顕微鏡 (Scanning Probe Microscope : S P M) 1 3 と、走査電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope : S E M) 1 4 とを使用する。

【 0 0 4 1 】

ここでは、説明の便宜上、集束イオンビーム装置 1 2、走査型プローブ顕微鏡 1 3 及び走査電子顕微鏡 1 4 はいずれも制御装置 1 5 により制御されるものとしている。また、走査型プローブ顕微鏡 1 3 により取得される表面変位像のデータ及び走査電子顕微鏡 1 4 により取得される構造像のデータは、いずれも制御装置 1 5 を介して応力評価装置 1 6 に送られるものとしている。

10

【 0 0 4 2 】

応力評価装置 1 6 はコンピュータを含んで構成されており、演算部 1 6 a と記憶部 1 6 b とを有する。この応力評価装置 1 6 は、集束イオンビーム装置 1 2 により新しい端面が形成されるたびに、表面変位像のデータと構造像のデータとを記憶部 1 6 b に蓄積することで、表面変位像のデータセットと構造像のデータセットとを得る。そして、応力評価装置 1 6 の演算部 1 6 a は、表面変位像のデータセットを 3 次元構築して 3 次元弾性変形像を生成し、構造像のデータセットを 3 次元構築して F E M 構造モデルを生成する。

20

【 0 0 4 3 】

その後、応力評価装置 1 6 の演算部 1 6 a は、3 次元弾性変形像及び F E M 構造モデルを使用して、評価領域に印加された応力を探索する。応力の探索結果は、表示器 1 7 に表示される。また、応力評価装置 1 6 の演算部 1 6 a により生成された 3 次元弾性変形像及び F E M 構造モデル等も、適宜表示器 1 7 に表示される。

【 0 0 4 4 】

なお、図 3 中の符号 2 0 は評価試料を示し、符号 1 1 は評価試料 2 0 を搭載するステージを示している。

【 0 0 4 5 】

図 4 は、本実施形態に係る応力評価方法を示すフローチャートである。

30

【 0 0 4 6 】

まず、ステップ S 1 1 において、集束イオンビーム装置 1 2 を用いて評価試料 2 0 に対し端面形成工程を実施して、端面を形成する。

【 0 0 4 7 】

次に、ステップ S 1 2 に移行し、走査電子顕微鏡 1 4 により、評価試料 2 0 の端面の構造像を撮影する。走査電子顕微鏡 1 4 により撮影した構造像のデータは、制御装置 1 5 を介して応力評価装置 1 6 に送られ、記憶部 1 6 b 内に蓄積される。

【 0 0 4 8 】

次に、ステップ S 1 3 に移行し、走査プローブ顕微鏡 1 3 を使用して、端面の表面変位像を取得する。走査プローブ顕微鏡 1 3 により取得した表面変位像のデータも、制御装置 1 5 を介して応力評価装置 1 6 に送られ、記憶部 1 6 b 内に蓄積される。

40

【 0 0 4 9 】

次に、ステップ S 1 4 に移行し、追加の研磨が必要か否かを判定する。例えば予め設定された深さまで研磨が完了していない場合、又は予め設定された回数の研磨が終了していない場合は、追加の研磨が必要と判定 (Y E S) して、ステップ S 1 5 に移行する。一方、予め設定された深さまで研磨が完了した場合、又は予め設定された回数の研磨が終了した場合は、追加の研磨が必要でないと判定 (N O) して、ステップ S 1 6 に移行する。

【 0 0 5 0 】

ステップ S 1 4 からステップ S 1 5 に移行した場合は、追加の研磨量を設定する。追加の研磨量は一定でもよく、評価試料 2 0 の構造 (各部の大きさや材料等) に応じて変化さ

50

せてもよい。

【 0 0 5 1 】

ステップ S 1 5 で追加の研磨量を設定した後は、ステップ S 1 1 に戻る。そして、ステップ S 1 5 で設定された研磨量だけ評価試料 2 0 を研磨して、新たな端面を形成する。その後、ステップ S 1 2 で構造像を撮影し、ステップ S 1 3 で表面変位像を取得する。

【 0 0 5 2 】

このようにして、応力評価装置 1 6 の記憶部 1 6 b には、構造像のデータと表面変位像のデータとが蓄積されていく。

【 0 0 5 3 】

ステップ S 1 4 で追加の研磨が必要でないと判定した場合はステップ S 1 6 に移行する。ステップ S 1 6 において、応力評価装置 1 6 の演算部 1 6 a は、記憶部 1 6 b に蓄積された構造像のデータセット及び表面変位像のデータセットを読み出す。そして、演算部 1 6 a は、構造像のデータセットを 3 次元再構築して 3 次元弾性変形像を生成し、表面変位像のデータセットを 3 次元再構築して、F E M 構造モデルを生成する。F E M 構造モデルの一例を、図 5 に示す。

10

【 0 0 5 4 】

次に、ステップ S 1 7 に移行する。ステップ S 1 7 では、応力評価装置 1 6 に、歪み源となる構成要素に仮想的に印加する応力を設定（入力）する。応力を印加する構成要素の指定は任意でよく、設定する応力の値（初期値）も任意でよい。

【 0 0 5 5 】

20

その後、ステップ S 1 8 に移行し、応力評価装置 1 6 の演算部 1 6 a は、F E M 構造モデルを使用して評価領域の弾性変形分布を算出する。ここでは、次のステップの前に評価領域となるカット面を決定し、そのカット面が自由端（露出面）となるように設定する。そうすることで、そのカット面での弾性変形分布を計算することができる。なお、カット面は特定の方位に沿う必要はなく、任意に設定できる。

【 0 0 5 6 】

図 6 は、評価試料 2 0 の（ 1 0 0 ）面を露出させたときの弾性変形分布の一例を示す図である。図 6 は、図中矢印で示す部分（コンタクト材料部）に 1 . 6 G P a の応力を印加したときの弾性変形分布を示している。

【 0 0 5 7 】

30

次に、ステップ S 1 9 に移行し、応力評価装置 1 6 の演算部 1 6 a は、カット面における弾性変形分布の算出値と、3 次元弾性変形像から得られる弾性変形分布の実測値とを照合する。この照合工程では、例えば画素毎に算出値と実測値との差分（平均二乗誤差）を計算する。また、正規化相互関数などを用いて像の類似度を算出してもよい。

【 0 0 5 8 】

次に、ステップ S 2 0 に移行する。ステップ S 2 0 では、別のカット面で照合を行うか否かを判定する。別のカット面で照合を行う場合はステップ S 1 8 に戻り、別のカット面での照合を行わない場合はステップ S 2 1 に移行する。

【 0 0 5 9 】

なお、照合するカット面の数は任意である。また、照合に関する差分や類似度などの結果はカット面毎に分類してもよく、カット面の総和として照合の指標（目的関数）を単一化してもよい。

40

【 0 0 6 0 】

ステップ S 2 0 で別のカット面での照合を行わないと判定した場合は、ステップ S 2 1 に移行する。ステップ S 2 1 において、応力評価装置 1 6 の演算部 1 6 a は、各カット面（評価領域）における弾性変形分布の算出値と実測値との一致度を判定する。

【 0 0 6 1 】

照合に平均二乗誤差を使用している場合はゼロに近いほど一致度は高く、類似度を使用している場合は値が大きいくほど（相関係数の場合は 1 に近づくほど）一致度が高いといえることができる。一致度のしきい値は任意に設定することができるが、例えば一致度の変化

50

量が 10^{-5} (0 . 0 0 1 %) 以下に収束すれば、一致とみなすことができる。

【 0 0 6 2 】

ステップ S 2 1 で弾性変形分布の算出値と実測値とが一致していると判定した場合 (Y E S) はステップ S 2 2 に移行し、一致していないと判定した場合 (N O) はステップ S 1 7 に移行する。

【 0 0 6 3 】

ステップ S 2 1 からステップ S 1 7 に移行するときには、歪み源に入力する応力値を変更する。複数のカット面で照合を行った場合は、全てのカット面で一致度が高くなるように、次に入力する応力値を設定する。また、全てのカット面の総和を用いた場合は、その値がゼロに近づくように、次に入力する応力値を設定する。

10

【 0 0 6 4 】

次に入力する応力値を決定する際は、遺伝的アルゴリズムなどの多目的数値最適化アルゴリズムや S I M P L E X 法などの単目的数値最適化アルゴリズムを用いる。

【 0 0 6 5 】

なお、ステップ S 1 7 からステップ S 2 1 までの工程 (ループ) において、応力を与える構成要素の数が多い場合、一致度の収束に時間がかかることがある。その場合は、例えば 1 0 と - 1 0 、又は 1 0 と 1 0 0 のように、大きく異なる 2 つの応力値を各構成要素に与え、一致度の変化の寄与度を解析する。その結果、どの構成要素が一致度により多くの変化を与えるかがわかるので、与える変化が小さい (寄与度が小さい) 構成要素を削除すれば、計算の効率化を図ることができる。これと同様に、一致度の計算の過程で、ある構成要素の応力値が一定となった場合は、定数としてその構成要素を除外することで計算の効率化を図ることができる。

20

【 0 0 6 6 】

ステップ S 2 1 で弾性変形分布の算出値と実測値とが一致していると判定した場合は、そのときの応力値が歪み源に実際に印加される応力値、すなわち解とみなすことができる。この場合はステップ S 2 1 からステップ S 2 2 に移行する。ステップ S 2 2 において、応力評価装置 1 6 は、例えば各構成要素の応力値と、算出値と実測値との一致度とを表示器 1 7 に表示する。

【 0 0 6 7 】

以上説明したように、本実施形態に係る応力評価方法では、評価試料 2 0 に対し端面形成工程及び表面変位像取得工程を繰り返し実施して 3 次元弾性変形像を生成し、各端面における構造像を取得して F E M 構造モデルを生成する。そして、評価試料の構成要素に仮想的に応力を印加して評価領域の弾性変形分布を計算し、構成要素に実際に印加される応力を探索する。

30

【 0 0 6 8 】

このように、本実施形態に係る応力評価方法では、従来の電子回折法とは異なる手法で構造物内の歪みの原因となる応力を評価する。このため、本実施形態に係る応力評価方法は、電子回折法では困難であった 1 0 0 n m 以下の薄い構造や、電子線が透過しない 1 μ m 以上の厚い試料、及び結晶性を有しないアモルファスに対しても適用ができる。

【 0 0 6 9 】

また、本実施形態に係る応力評価方法では、歪みの定量化に必要な物性は機械的な物性だけである。このため、本実施形態に係る応力評価方法は、データベースが必要なラマン分光法や Z O L Z 法に比べて制約が少なく、種々の半導体デバイスにおいて歪みの原因となる応力の評価に適用できる。そして、それらの評価結果を設計段階にフィードバックすることにより、半導体デバイスの特性及び信頼性をより一層向上させることができる。

40

【 0 0 7 0 】

なお、実施形態で開示した応力評価方法は、試料の構造、厚さ及び結晶性等に依存しないので、半導体デバイスだけでなく、種々の構造物内の応力の評価に適用できる。

【 0 0 7 1 】

以上の諸実施形態に関し、更に以下の付記を開示する。

50

【 0 0 7 2 】

(付記 1) 構造物を研磨又は研削して端面を形成し、その端面の表面変位を測定して表面変位像を取得する第 1 の工程と、

前記端面における前記構造物の構成要素の輪郭を判別するための構造像を取得する第 2 の工程と、

前記第 1 の工程及び前記第 2 の工程を繰り返し実施することにより得た複数の前記表面変位像を 3 次元再構築して 3 次元弾性変形像を生成し、複数の前記構造像を 3 次元再構築して構造モデルを生成する工程と、

前記構造モデルの所定の位置に応力を仮想的に印加して評価領域の弾性変形分布を計算し、その計算結果が前記 3 次元弾性変形像から得られる弾性変形分布と一致するように前記応力を変更して解となる応力値を探索する工程と

を有することを特徴とする応力評価方法。

10

【 0 0 7 3 】

(付記 2) 前記表面変位像を、走査プローブ顕微鏡及び走査レーザ変位計のいずれかにより取得することを特徴とする付記 1 に記載の応力評価方法。

【 0 0 7 4 】

(付記 3) 前記構造像を、走査プローブ顕微鏡、走査電子顕微鏡、走査レーザ顕微鏡及び光学顕微鏡のいずれかにより取得することを特徴とする付記 1 又は 2 に記載の応力評価方法。

【 0 0 7 5 】

20

(付記 4) 前記構造像を、前記構造物の C A D (Computer Aided Design) 図から生成することを特徴とする付記 1 又は 2 に記載の応力評価方法。

【 0 0 7 6 】

(付記 5) 前記応力値を探索する工程では、S I M P L E X 法又は遺伝的アルゴリズムを用いて前記構造モデルから算出した評価領域の弾性変形分布と前記 3 次元変形像から得られる弾性変形分布との一致度を計算することを特徴とする付記 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の応力評価方法。

【 0 0 7 7 】

(付記 6) 前記応力値を探索する工程では、前記評価領域を複数設定し、各評価領域で弾性変形分布を計算することを特徴とする付記 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の応力評価方法。

30

【 0 0 7 8 】

(付記 7) 前記構造物が、半導体デバイスであることを特徴とする付記 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の応力評価方法。

【 0 0 7 9 】

(付記 8) 構造物の複数の端面における表面変位像のデータセットと、各端面の構造像のデータセットとを記憶する記憶部と、

前記表面変位像のデータセットを 3 次元再構築して 3 次元弾性変形像を生成し、前記構造像のデータセットを 3 次元再構築して構造モデルを生成し、前記構造モデルの所定の位置に応力を仮想的に印加して評価領域の弾性変形分布を計算する制御部と

を有することを特徴とする応力評価装置。

40

【 0 0 8 0 】

(付記 9) 前記制御部は、前記評価領域における前記評価領域の弾性変形分布が、前記 3 次元弾性変形像から得られる前記評価領域の弾性変形分布と一致するように、前記応力を変更しながら前記弾性変形分布を計算することを特徴とする付記 8 に記載の応力評価装置。

【 符号の説明 】

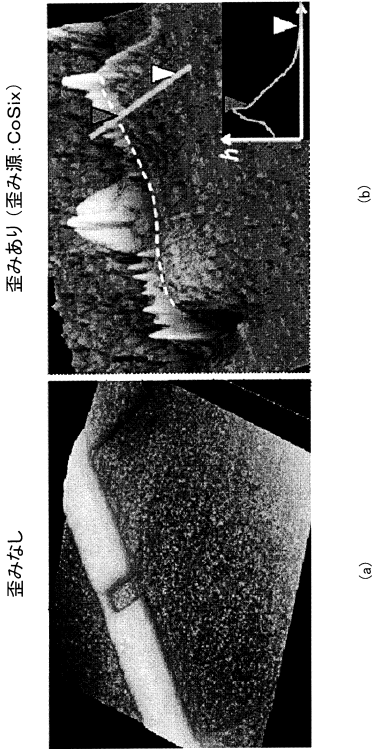
【 0 0 8 1 】

1 1 ... ステージ、1 2 ... 集束イオンビーム装置、1 3 ... 走査プローブ顕微鏡、1 4 ... 走査電子顕微鏡、1 5 ... 制御装置、1 6 ... 応力評価装置、1 6 a ... 演算部、1 6 b ... 記憶部

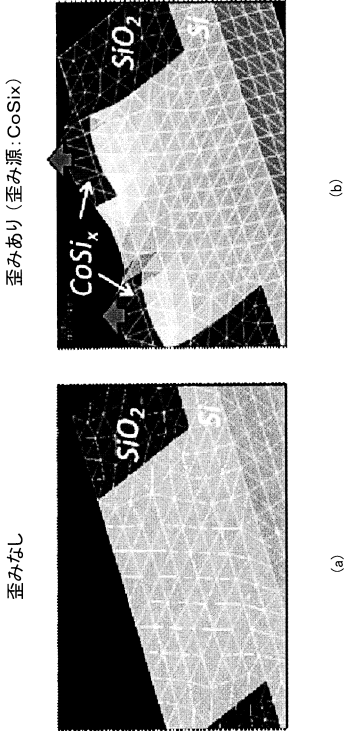
50

、 1 7 ... 表示器、 2 0 ... 評価試料。

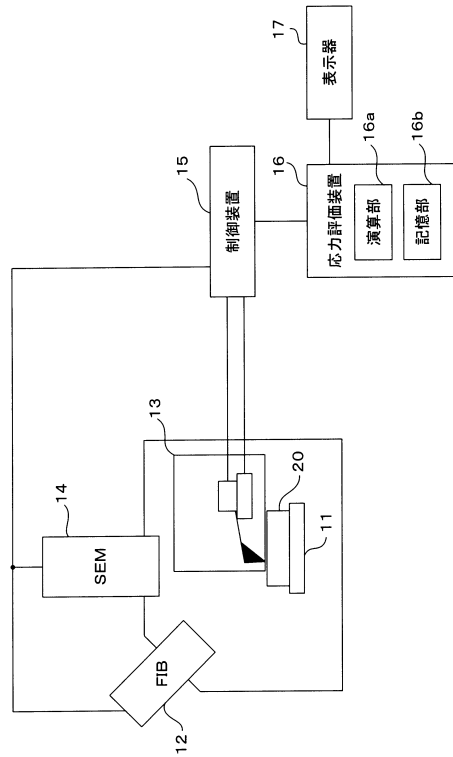
【 図 1 】



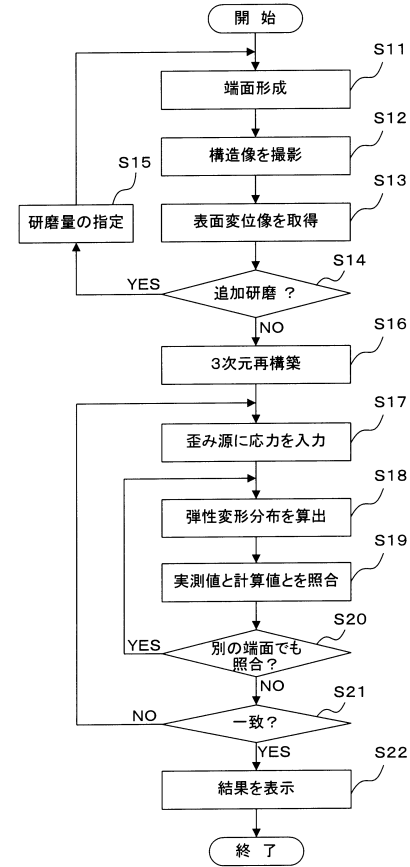
【 図 2 】



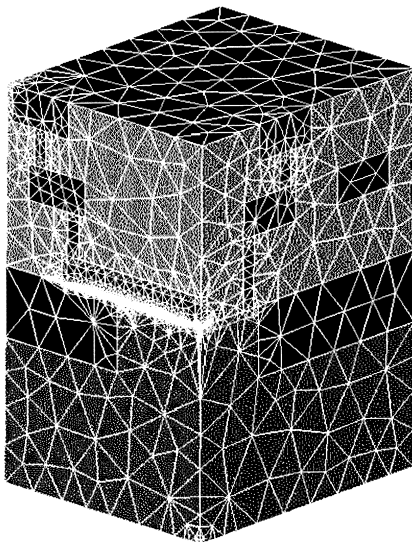
【図 3】



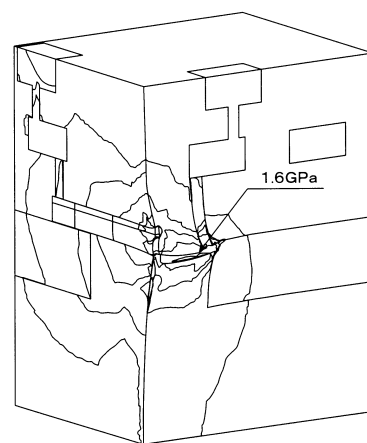
【図 4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

(56)参考文献 特許第4640811(JP, B2)
特許第5272335(JP, B2)
特開2008-58179(JP, A)
特開2013-83647(JP, A)
特開2008-128741(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01L
G06F17/50