

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6414801号
(P6414801)

(45) 発行日 平成30年10月31日 (2018. 10. 31)

(24) 登録日 平成30年10月12日 (2018. 10. 12)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 N 21/956 (2006. 01)

GO 1 N 21/956 A

HO 1 L 21/66 (2006. 01)

HO 1 L 21/66 J

請求項の数 6 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2015-97366 (P2015-97366)
 (22) 出願日 平成27年5月12日 (2015. 5. 12)
 (65) 公開番号 特開2016-212009 (P2016-212009A)
 (43) 公開日 平成28年12月15日 (2016. 12. 15)
 審査請求日 平成29年5月15日 (2017. 5. 15)

(73) 特許権者 000190149
 信越半導体株式会社
 東京都千代田区大手町二丁目2番1号
 (74) 代理人 100131048
 弁理士 張川 隆司
 (72) 発明者 佐藤 英樹
 群馬県安中市磯部二丁目13番1号 信越
 半導体株式会社 半導体磯部研究所内

審査官 立澤 正樹

(56) 参考文献 特開昭64-073203 (JP, A)

特開平06-252230 (JP, A)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 欠陥検査方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ウェーハの表面に存在する突起状の欠陥の分布を表面検査装置により検出する膜形成前
 検出工程と、

前記膜形成前検出工程の実施後に、前記ウェーハの表面に存在する突起状の欠陥を拡張
 させるための膜を前記ウェーハ上に形成する膜形成工程と、

前記膜形成工程の実施後に、前記膜の表面に形成された突起状の欠陥の分布を表面検査
 装置で検出する検出工程と、

前記検出工程にて検出された欠陥分布のうち、前記膜形成前検出工程にて検出された欠
 陥分布から増加した座標点を抽出する抽出工程と、

前記抽出工程で抽出した前記座標点の観察又は分析を行う観察分析工程とを含み、

前記膜形成工程では、前記膜形成前検出工程及び前記検出工程で用いる前記表面検査装
 置の欠陥検出感度である検査装置検出感度、検出のターゲットとなる欠陥サイズ、及び予
 め定められた100%以上の率である安全率を用いた以下の式1を満たすように前記膜の
 膜厚を設定し、

式1 膜厚 (検査装置検出感度 - 欠陥サイズ) × 安全率

前記観察分析工程は、

走査型電子顕微鏡により前記座標点を観察するとともに、観察像の元素分析により、内
 部に欠陥の反応がある突起部の観察像と、内部に欠陥の反応が無い突起部の観察像とを分
 別する第1の観察工程と、

10

20

前記第 1 の観察工程で得られた突起部の観察像のうち内部に欠陥の反応がある観察像の断面を透過型電子顕微鏡により観察するためのサンプルを作製するサンプル作製工程と、前記サンプルの断面を透過型電子顕微鏡により観察する第 2 の観察工程とを含むことを特徴とする欠陥検査方法。

【請求項 2】

前記安全率が 1 1 0 % 以上であることを特徴とする請求項 1 に記載の欠陥検査方法。

【請求項 3】

前記欠陥は、パーティクル又は P I D (P o l i s h i n g I n d u c e d D e f e c t) であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の欠陥検査方法。

【請求項 4】

前記表面検査装置は、ウェーハ表面にレーザー光を照射し、散乱されたレーザー光に基づいて欠陥を検出する装置であることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の欠陥検査方法。

【請求項 5】

前記膜がシリコン窒化膜であることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の欠陥検査方法。

【請求項 6】

前記シリコン窒化膜中の窒素濃度が 3 0 % 以上であることを特徴とする請求項 5 に記載の欠陥検査方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、シリコンウェーハ等のウェーハの表面に存在するパーティクル、P I D (P o l i s h i n g I n d u c e d D e f e c t) といった突起状の欠陥を検査する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

シリコンウェーハを用いて製造される L S I は、パーティクル等が L S I 製造プロセスの様々な段階で問題となり、素子の特性や信頼性に影響を与える。特に、ウェーハ表面に存在するパーティクル、P I D などの突起状の欠陥は、デバイス製造工程のいかなる工程においても致命的な不良を生み、歩留まりを著しく低下させてしまう。前述の欠陥はデバイス製造工程でも発生するが、ウェーハ製造プロセスで付着し出荷されることもある。なお、研磨工程において導入される突起状の欠陥が P I D と総称される。

【0003】

パーティクルや P I D といった突起状の欠陥を検出するために多くの研究者もしくは企業により数々の検査装置が開発されている。特に、ウェーハ表面においては、K L A - T e n c o l 社の S P 3 や S P 5 をはじめ多くの表面検査装置が販売され、2 0 n m を下回るようなサイズの欠陥までを正確に検知することが可能になってきている。前述の表面検査装置にて検出された欠陥は、S E M (S c a n n i n g E l e c t r o n M i c r o s c o p e 、走査型電子顕微鏡) をはじめとする観察装置で観察を行い、欠陥種をそれぞれの判断基準により選別し、ウェーハ製造工程における発塵やその発塵因子などの特定を行うことで、工程改善や、品質向上に貢献している。

【0004】

前述の表面検査装置の一つに、ウェーハ表面にレーザーを照射して、そのレーザーがウェーハ表面に当たったときに生ずる散乱光に基づいて欠陥を検出するレーザー表面検査装置が知られている(例えば特許文献 1、2、3 参照)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

10

20

30

40

50

【特許文献１】特開２０１２－６８１０３号公報

【特許文献２】特開平９－１５１３４号公報

【特許文献３】特開平９－１６７７９０号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

ところで、デバイス世代が進化するにつれ、ウェーハ表面に存在するパーティクル等の欠陥数やその大きさは、世代を追うごとに少数化、微小化が要求されている。このことからウェーハ製造時におけるパーティクル等の欠陥の管理および検査は不可欠であり、その検査で使用される表面検査装置も進化し、現行で１９ｎｍ程度の欠陥を検出できるようになってきている。しかし、最高感度の表面検査装置を用いても検出できない欠陥がデバイス不良に影響を及ぼすことも容易に推測できる。実際には最先端デバイスのデザインルールでは１０ｎｍ程度の線幅しかない場合もあるが、そこに１５ｎｍ程度のパーティクルがあれば、デバイス特性不良が発生することは容易に想像ができる。

10

【０００７】

このように、表面検査装置にて検査できる欠陥サイズとデバイスの線幅に乖離が生じ、さらなる微小な欠陥を検出し、観察分析することが求められている。

【０００８】

本発明は、上記課題を解決するためになされ、表面検査装置では直接検出できない微小な突起状の欠陥を検出可能とする欠陥検査方法を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【０００９】

上記課題を解決するため、本発明の欠陥検査方法は、ウェーハの表面に存在する突起状の欠陥を拡張させるための膜を前記ウェーハ上に形成する膜形成工程と、

前記膜形成工程の実施後に、前記膜の表面に形成された突起部を表面検査装置で検出する検出工程とを含み、

前記膜形成工程では、前記表面検査装置の欠陥検出感度である検査装置検出感度、検出のターゲットとなる欠陥サイズ、及び予め定められた１００％以上の率である安全率を用いた以下の式１を満たすように前記膜の膜厚を設定することを特徴とする。

式１ 膜厚 （検査装置検出感度－欠陥サイズ）×安全率

30

【００１０】

本発明者は、ウェーハ上にシリコン窒化膜等の膜を形成すると、ウェーハ表面に存在する突起状の欠陥が拡張した突起部がその膜の表面に形成されることを見出した。さらに、ウェーハ表面の欠陥の周囲に均一に膜が形成されることで、突起部のサイズは、元の欠陥のサイズに膜厚分を加えたサイズとなることを見出した。つまり、膜の表面には、元の欠陥が膜厚分だけ拡張した突起部が形成される。よって、突起部が表面検査装置の検出感度以上のサイズ（つまり、突起部のサイズ（＝膜厚＋欠陥サイズ） 検査装置検出感度）となるように膜厚を設定することで、その突起部の検出を介して間接的に表面検査装置で直接検出できない微小欠陥を検出できる。なお、ここで言う検査装置検出感度とは、検出できる最小の欠陥サイズのことである。

40

【００１１】

以上の知見により式１を導出できる。ここで、縦横比が異なる欠陥にあっては、X－Y座標系やr－座標系にしたがって表面検査装置の測定を走査した場合に、表面検査装置の測定の走査方向における欠陥サイズが短いと、検出誤差が出る可能性がある。この検出誤差を防ぐため、式１では安全率を導入している。この安全率は１００％でも良いが、１００％より大きい値にすることで、縦横比が異なる欠陥であっても検出しやすくできる。

【００１２】

このように、本発明では、式１により設定した膜厚で、ウェーハ表面に膜を形成するので、ウェーハ表面に存在する微小欠陥を、表面検査装置で検出可能なサイズにまで拡張できる。ゆえに、微小欠陥を反映した拡張突起部を検出することで、表面検査装置では直接

50

検出できない微小欠陥を検出できる。

【 0 0 1 3 】

また、式 1 の安全率は例えば 1 1 0 % 以上とすることができる。安全率を 1 1 0 % 以上とすることで、1 0 0 % の場合に比べて、突起部のサイズを大きくできる。よって、ウェーハ表面の微小欠陥を反映した拡張突起部を検出しやすくなる。

【 0 0 1 4 】

また、ウェーハ表面に存在する突起状の欠陥は、パーティクル又は P I D である。これによれば、表面検査装置で直接検出できないパーティクル又は P I D を検出できる。

【 0 0 1 5 】

また、表面検査装置は、ウェーハ表面にレーザー光を照射し、散乱されたレーザー光に基づいて欠陥を検出する装置とすることができる。レーザー光を用いて欠陥を検出する場合には、レーザー光の出力が強いと欠陥が焼失してしまうリスクがあるが、本発明では、膜が保護膜として作用するのでそのリスクを軽減できる。

【 0 0 1 6 】

また、前記膜がシリコン窒化膜とすることができる。ウェーハ表面に存在するパーティクルは酸化物であることが多いことから、ウェーハ上に形成する膜を、酸化物とは組成が異なるシリコン窒化膜とすることで、シリコン窒化膜の突起部を検出しやすくなる。また、突起部を検出した後に、突起部中に存在するパーティクル（酸化物）を観察、分析しやすくなる。

【 0 0 1 7 】

また、本発明において、前記検出工程は、前記膜の表面に形成された欠陥の分布を検出する工程であり、

前記膜形成工程の実施前に、前記ウェーハの表面に存在する欠陥の分布を前記表面検査装置により検出する膜形成前検出工程と、

前記検出工程にて検出された欠陥分布のうち、前記膜形成前検出工程にて検出された欠陥分布から増加した座標点の観察又は分析を行う観察分析工程とを含む。

【 0 0 1 8 】

これによれば、膜形成前後で欠陥分布を検出して、膜形成後に検出された欠陥分布のうち、膜形成前に検出された欠陥分布から増加した座標点を抽出する。抽出した座標点は、表面検査装置で検出できない微小欠陥が反映された突起部の座標点であると考えられる。本発明では、観察分析工程において、抽出した座標点の観察又は分析を行うので、表面検査装置で直接検出できない微小欠陥の観察又は分析を効率的に行うことができる。

【 0 0 1 9 】

また、観察分析工程では電子顕微鏡により増加した座標点の観察を行うとすることができる。このように電子顕微鏡を用いることで、座標点の表面や断面の観察像を得ることができる。

【 0 0 2 0 】

本発明の欠陥検査方法は、ウェーハの表面に存在する欠陥の分布を表面検査装置により取得する第 1 の取得工程と、

前記第 1 の取得工程の実施後に、前記ウェーハの表面に存在する突起状の欠陥を拡張させるための膜を前記ウェーハ上に形成する膜形成工程と、

前記膜形成工程の実施後に、前記膜の表面に形成された欠陥の分布を前記表面検査装置により取得する第 2 の取得工程と、

前記第 2 の取得工程にて取得された欠陥分布のうち、前記第 1 の取得工程にて取得された欠陥分布から増加した座標点の観察又は分析を行う観察分析工程と、

を含むことを特徴とする。

【 0 0 2 1 】

本発明によれば、膜形成前後で欠陥分布を検出して、膜形成後に検出された欠陥分布のうち、膜形成前に検出された欠陥分布から増加した座標点の観察又は分析を行うので、表面検査装置で直接検出できない微小欠陥の観察又は分析を効率的に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】シリコン窒化膜の成膜前後でパーティクルの画像を比較した図である。

【図2】パーティクルが存在するシリコンウェーハ上に、シリコン窒化膜を成膜する様子を示した模式図である。

【図3】パーティクルが存在するシリコンウェーハ上にシリコン窒化膜の成膜後の状態を示した模式図である。

【図4】欠陥検査方法の手順を例示したフローチャートである。

【図5】レーザー光の波長と、シリコンにおけるレーザー光の侵入長との関係を示した図である。

【図6】縦横比が異なる突起部の平面図である。

【図7】パーティクルを覆うようにシリコン窒化膜を成膜した状態を示した模式図である。

【図8】シリコン窒化膜における膜中窒素量と屈折率との関係を示した図である。

【図9】シリコン窒化膜の成膜前の欠陥分布を示した図である。

【図10】シリコン窒化膜の成膜後の欠陥分布を示した図である。

【図11】シリコン窒化膜の成膜前後の欠陥分布の差分を示した図である。

【図12】SEM観察像の一例を示した図である。

【図13】断面TEMの観察像の一例を示した図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下、本発明の実施形態を図面を参照して説明する。先ず、図1を参照して、シリコンウェーハの表面にシリコン窒化膜を形成すると、そのシリコン窒化膜に、シリコンウェーハ表面に存在するパーティクル（異物）、PIDといった突起状の欠陥の形状を反映した突起部が形成されることを説明する。

【0024】

図1は、シリコン窒化膜の成膜前後のパーティクルの形状変化の実験結果を示している。図1の実験では、先ず、シリコンウェーハの表面を表面検査装置（高感度検査器）で検査して、その表面検査装置で検出可能なサイズのパーティクルを抽出した。ここでは、表面検査装置として、ウェーハにレーザー光を照射して、その照射したレーザー光がウェーハに当たったときに発生する散乱光（散乱したレーザー光）に基づいて欠陥を検出するレーザー表面検査装置を用いた。次に、抽出したパーティクルに対して、SEM（Scanning Electron Microscope、走査型電子顕微鏡）を用いた観察及びEDX分析（Energy Dispersive X-ray Spectroscopy、エネルギー分散型X線分析）を行い、パーティクル種の特定制を行った。この結果は図1の上段に示しており、詳しくは、 SiO_2 又は Al_2O_3 のパーティクルが特定されて、パーティクルのSEM観察画像を示している。

【0025】

次に、プラズマCVD装置（CVD：Chemical Vapor Deposition、化学気相成長）を用いたLPCVD法（LP：Low Pressure）により、シリコンウェーハ上に70nmの厚さのシリコン窒化膜を成膜した。ここでは、図2に示すように、原料ガスとして H_2SiCl_2 （ジクロロシラン）及び NH_3 （アンモニア）をチャンバー内に導入し、それら原料ガスのプラズマを生成して、 Si_3N_4 の膜（シリコン窒化膜）を、パーティクル2を覆うようにシリコンウェーハ1上に成膜した。その後、シリコン窒化膜を有したシリコンウェーハに対して、図1上段のパーティクルと同一座標点をSEMにより観察した。図1の下段には、その観察像を示している。図1の上段と下段とで画像の倍率は同じである。

【0026】

図1の上段、下段の画像を比較すると、パーティクルを覆うようにシリコン窒化膜を成膜すると、パーティクルと同一座標点に、パーティクルよりもサイズが大きい突起部が形

10

20

30

40

50

成されることがわかる。さらに、下段の各突起部の形状は、対応する上段のパーティクルの形状を反映している。すなわち、図1上段の左から1番目から4番目の各パーティクルは、縦横比が異なるとともに、図1の紙面から見て右側又は左側に傾いた形状を有しているが、図1下段の左から1番目から4番目の各突起部も、縦横比が異なるとともに対応するパーティクルと同じ側に傾いた形状を有している。また、図1上段の一番右側のパーティクルは図1の紙面から見てほぼ円状となっているが、図1下段の一番右側の突起部もほぼ円状となっている。

【0027】

このことから、シリコンウェーハの表面に存在する突起状の欠陥をシリコン窒化膜で覆うと、欠陥と同一座標点に、その欠陥の形状を反映し、かつその欠陥よりもサイズが大きい突起物がシリコン窒化膜に形成される(図3も参照)。

10

【0028】

また、突起部の形状が、元のパーティクルと同様の形状を有するということは、パーティクルの周囲に均一にシリコン窒化膜が形成されることを意味する。すなわち、図2に示す例では、パーティクル2の周囲においてはパーティクル2の表面3各部の法線方向(図2では5つの法線方向P1~P5を例示している)の間でほぼ均一な膜厚でシリコン窒化膜が形成される。その結果、図3に示すように、シリコン窒化膜4には、パーティクル2のサイズにシリコン窒化膜4の膜厚を加えたサイズの突起部5が形成される。つまり、パーティクル2のサイズが30nm、シリコン窒化膜4の厚さが70nmとすると、突起部5のシリコンウェーハ1の表面からの高さ(ウェーハ表面に垂直方向のサイズ)は、パーティクル2の高さにシリコン窒化膜4の厚さを加えて、100nm(=30nm+70nm)となる。また、突起部5の幅(ウェーハ表面に平行方向のサイズ)は、パーティクル2の幅に、シリコン窒化膜4の厚さを2倍した厚さを加えて、170nm(=30nm+140nm)となる。シリコン窒化膜4の厚さを2倍しているのは、図2において、パーティクル2の幅方向のうちの一方向P2に対して膜厚70nmのシリコン窒化膜が形成され、その方向P2と反対方向P3に対しても膜厚70nmのシリコン窒化膜が形成されるためである。

20

【0029】

結局、突起部は、ウェーハ表面からの高さで考えると、元のパーティクルのサイズに膜厚分を加えたサイズとなる。上記知見は、パーティクル以外の突起状の欠陥(PIDなど)についても成立する。以下では、上記知見を前提とした欠陥検査方法を説明する。

30

【0030】

図4は、本実施形態の欠陥検査方法の手順を例示したフローチャートである。図4の欠陥検査方法は、例えば、シリコンウェーハの製造工程における抜き取り検査として行われる。抜き取るシリコンウェーハは、ウェーハ製造工程におけるどの段階におけるシリコンウェーハであっても良く、例えば研磨工程前のウェーハであっても良いし、研磨工程後のポリッシュドウェーハであっても良いし、さらには、シリコンエピタキシャル層を成長後のシリコンエピタキシャルウェーハであっても良い。

【0031】

まず、表面検査装置を用いて、評価対象のシリコンウェーハの表面に存在する欠陥を輝点欠陥(Light Point Defects, LPD)として検出する(S1)。検出に用いる表面検査装置は、どの表面検査装置でも良いが、例えばKLA-Tencol社製のSPシリーズであったり、レーザーテック社製のMAGICSであったりする。SPシリーズやMAGICSは、レーザー光を用いて欠陥を検出する装置である。この種のレーザー表面検査装置では、2つの入射系(垂直入射及び斜め入射)と、2つの検出系(高角度方向散乱及び低角度方向散乱)とが用意されている。これらの2つの入射系及び2つの検出系の組み合わせから、ウェーハの表面に対して、垂直入射光を照射して高角度方向に散乱された光を検出するチャンネル(DNNチャンネル)、垂直入射光を照射して低角度方向に散乱された光を検出するチャンネル(DWNチャンネル)、斜め入射光を照射して高角度方向に散乱された光を検出するチャンネル(DNOチャンネル)、及び斜め入射光を照射

40

50

して低角度方向に散乱された光を検出するチャンネル（DWOチャンネル）の4つの検出チャンネルが存在する。

【0032】

また、S1の工程では、検査対象となる突起状の欠陥（パーティクル、PIDなど）のみの分布（ウェーハ表面における欠陥が位置する座標分布）を取得しても良いし、突起状の欠陥とそれ以外の欠陥（シャロースクラッチ、COP等、凹状の欠陥）とを含む全ての欠陥の分布を取得しても良い。突起状の欠陥と凹状の欠陥との分類は、上記特許文献1に記載の方法など公知の方法を用いることができる。すなわち、上記4つの検出チャンネルにおける散乱光の強度を測定することで、欠陥種进行分类することができ、結果、突起状の欠陥のみの分布を得ることができる。

10

【0033】

また、ウェーハ表面の欠陥分布を取得するため、レーザー表面検査装置の測定位置（レーザー照射位置）を所定方向（例えば、X-Y座標系におけるX方向、Y方向）に走査して、ウェーハ表面の全座標点に対して検査を行う。

【0034】

次に、S1の工程で欠陥の検出を行ったシリコンウェーハに対して、例えばプラズマCVD装置により、つまりプラズマを用いたLP-CVD法により、ウェーハ上にシリコン窒化膜を形成する（S2）。このとき、熱による欠陥（パーティクル、PIDなど）の変質を抑制するために、より低温の条件でシリコン窒化膜を形成するのが好ましい。また、シリコン窒化膜用の原料ガスはどのようなガスでも良く、例えば、図2に示すようにH₂SiCl₂及びNH₃とすることができる。その他、SiH₄及びN₂、SiH₄及びNH₃といった原料ガスでもシリコン窒化膜を形成できる。

20

【0035】

シリコン窒化膜の膜厚は、次工程で行われる表面検査装置の最高感度のときに十分検出可能なサイズの欠陥（突起部）になるように設定する。具体的には、以下の式1を満たすように膜厚を設定する。

式1 膜厚（検査装置検出感度・欠陥サイズ）×安全率

【0036】

式1中の検査装置検出感度は、S1及び次のS3の工程で用いる表面検査装置で検出可能な最小の欠陥サイズ（欠陥検出感度）である。表面検査装置の検出感度は、検出に使用するレーザー光の波長や出力によって決まり、具体的には、レーザー光の波長が短くなるほど、出力が大きくなるほど検出感度が向上する。

30

【0037】

ここで、図5は、レーザー光の波長と、シリコンへのレーザー光の侵入長との関係を示している。図5において、ライン101は、レーザー光の強度が1/2になるウェーハ表面からの深さを示している。ライン102は、レーザー光の強度が1/4になるウェーハ表面からの深さを示している。図5に示すように、レーザー光の波長が短くなるほど侵入長が小さくなる。このことは、波長が短くなるほど、ウェーハ表面に存在する欠陥を検出しやすくなる（検出感度が上がる）ことを意味する。S1、S3の工程で用いる表面検査装置のレーザー光の波長は、図5の特性を考慮して設定されており、具体的には例えば200nm～400nmとすることができる。

40

【0038】

また、式1中の欠陥サイズは、ウェーハ表面に存在する突起状の欠陥のうち、検出のターゲットとなる欠陥のサイズを示し、言い換えると、検出したい欠陥サイズを示している。検出したい欠陥サイズが範囲（例えば10nm以上の範囲）で示される場合には、その範囲のうち最小値が式1中の欠陥サイズとなる。また、式1中の欠陥サイズは、検査装置検出感度よりも小さい値であることを想定している。なぜなら、検査装置検出感度より大きいサイズの欠陥は、本手法を用いなくても、表面検査装置で検出できるためである。

【0039】

また、式1中の安全率は、予め定められた100%以上の率に設定され、本実施形態で

50

は、 110% ($=1.1$) に設定される。このように式 1 に安全率を導入しているのは、縦横比が異なる欠陥を考慮したものであり、具体的には、縦横比が異なる欠陥にあっては、表面検査装置の測定の走査方向によっては欠陥サイズが短くなる場合があり、この場合には、次の S 3 の工程において検出誤差が出る可能性があるためである。ここで、図 6 には、シリコン窒化膜に形成される縦横比が異なる突起部 12 の平面図を例示している。図 6 に示すように X - Y 座標系を設定した場合に、突起部 12 は、Y 方向における幅 D 2 に比べて X 方向における幅 D 1 のほうが短い。よって、表面検査装置による測定の走査方向を X 方向とした場合には、突起部 12 の水平方向サイズは短幅 D 1 となり、突起部 12 が検出されにくくなってしまふ。また、図 6 に示すように r - 座標系を設定した場合には、突起部 12 は、 $=90^\circ$ の方向における幅 D 2 に比べて $=0^\circ$ の方向における幅 D 1 のほうが短い。よって、表面検査装置による測定の走査方向を $=0^\circ$ 方向とした場合には、突起部 12 の水平方向サイズは短幅 D 1 となり、突起部 12 が検出されにくくなってしまふ。

【0040】

一方で、想定している欠陥の縦横比はそれほど大きくないため、安全率を 110% に設定している。これによって、安全率 $=100\%$ の場合に比べて、シリコン窒化膜に形成される突起部を大きくでき、S 3 の工程において突起部を検出しやすくできる（検出誤差を抑制できる）。また、安全率を 110% より大きい値に設定する場合に比べて、必要以上にシリコン窒化膜が厚くなってしまふのを防ぐことができ、欠陥検査の時間を短縮できるとともに、S 5 ~ S 7 の工程において SEM や TEM を用いて突起部内の欠陥を観察しやすくなる。なお、安全率は 110% に限定する趣旨ではなく、例えば安全率は 100% （この場合には式 1 から安全率を省略したことを意味する）でも良いし、 110% より大きい値でも良い。

【0041】

式 1 は、図 1 ~ 図 3 を参照して説明した上記知見に基づいて導出された式である。すなわち、シリコン窒化膜には、理論上、シリコン窒化膜の膜厚 + 欠陥サイズのサイズを有した突起部が形成される。この突起部のサイズ ($=$ シリコン窒化膜の膜厚 + 欠陥サイズ) が、検査装置検出感度以上となる必要がある。つまり、シリコン窒化膜の膜厚 + 欠陥サイズ - 検査装置検出感度を満たす必要がある。欠陥サイズを右辺に移すと、シリコン窒化膜の膜厚 \geq 検査装置検出感度 - 欠陥サイズとなり、この右辺に安全率を乗算することで、式 1 を導出できる。

【0042】

例えば、検査装置検出感度が 25 nm 、ターゲットとなる欠陥サイズが 10 nm 、安全率が 110% ($=1.1$) とすると、式 1 により、シリコン窒化膜の膜厚 $\geq 16.5\text{ nm}$ となる。よって、例えば、図 7 に示すように、シリコンウェーハ 7 上に、 20 nm の膜厚のシリコン窒化膜 9 を形成することで、そのシリコン窒化膜 9 に、ターゲットとなる欠陥 10 のサイズ ($=10\text{ nm}$) に膜厚 20 nm を加えた 30 nm の突起部 11 を形成することができる。この 30 nm のサイズは、検査装置検出感度である 25 nm より十分大きい。なお、図 7 では、シリコン窒化膜 9 のうち、横線ハッチング + 斜線ハッチングの部分が突起部 11 の範囲を示している。

【0043】

また、次の S 3 の工程においてシリコン窒化膜寄りの散乱光信号をより効率良く取り出すために、シリコン窒化膜中における窒素濃度が高めになるように、シリコン窒化膜の成膜条件（原料ガスの流量等）を設定するのが望ましい。つまり、シリコン窒化膜の分子式における窒素の割合が高いほど望ましい。窒素濃度を高めに設定することで、シリコン窒化膜より下のシリコンウェーハからの散乱光信号が取り込まれてしまふのを抑制でき、シリコン窒化膜に形成された突起部の検出精度を向上できる。

【0044】

また、シリコン窒化膜は一般的に光が深部まで到達しやすい物質として知られている。言い換えると、シリコン窒化膜の透過率は、シリコンの透過率より高い。しかし、図 8 に

示す富士電機、成田、小山、市川らの報告（富士時報、Vol.78 No.4 2005 プラズマCVD 窒化膜の組成制御技術）によれば、シリコン窒化膜中の窒素濃度（膜中窒素量 $N / (Si + N)$ ）を30%以上に制御することでシリコン窒化膜の屈折率を大きくできる。屈折率を大きくすることで、次のS3の工程の検査において、シリコン窒化膜表面でのレーザー光の反射成分（散乱成分）が増え、直進する成分（透過成分）を減少させることができる。これにより、シリコン窒化膜中のパーティクルに達するレーザー光の照射エネルギーを十分に小さくし、パーティクルを焼失することなく計測が可能であると推測できる。

【0045】

次に、シリコン窒化膜の成膜処理を行ったシリコンウェーハに対して、S1の工程で用いた表面検査装置と同じ、又は同種の表面検査装置を用いて、ウェーハ表面の検査を行い、シリコン窒化膜の表面に形成された欠陥分布を検出する（S3）。このとき、レーザー光をより低角度でウェーハ表面に照射すると、シリコン窒化膜中に侵入するレーザー光のエネルギー抑制効果が大きくなり、シリコン窒化膜中に存在するパーティクル、PID等の欠陥が焼失してしまうリスクを軽減できる。

【0046】

また、S3の工程では、S1の工程と同様に、突起状の欠陥のみの分布を取得しても良いし、突起状の欠陥とそれ以外の欠陥とを含む全ての欠陥の分布を取得しても良い。

【0047】

S3の工程により、パーティクルやPIDを反映した突起部のウェーハ表面における分布を取得できる。この欠陥分布には、S1の工程で取得できた突起状欠陥の座標に加え、S1の工程で取得できなかった微小欠陥（検査装置検出感度以下のサイズの欠陥）の座標も含まれる。また、S1の工程で取得した欠陥分布に、突起状欠陥以外の欠陥（凹状欠陥）の座標も含まれている場合に、凹状欠陥はシリコン窒化膜の形成によっては拡張しないと考えられる。つまり、S3の工程で取得する欠陥分布には、S1の工程で検出できない微小な凹状欠陥の座標は含まれない。以下では、S1の工程で取得した欠陥分布を膜形成前分布といい、S3の工程で取得した欠陥分布を膜形成後分布という。

【0048】

次に、膜形成後分布と膜形成前分布とを比較して、膜形成後分布のうち、膜形成前分布から増加した欠陥の座標点を抽出する（S4）。つまり、膜形成前分布には含まれないが、膜形成後分布には含まれている欠陥座標を抽出する。なお、膜形成前分布には含まれているが、膜形成後分布には含まれない欠陥座標が存在する場合がある。この欠陥座標は、例えばシリコン窒化膜の形成前のウェーハ表面に存在する凹状欠陥が、シリコン窒化膜により覆われて、シリコン窒化膜の表面に存在しなくなった場合が考えられる。このような欠陥座標については、S4の抽出対象とはしない。

【0049】

ここで、図9は膜形成前分布の一例を示し、図10は、図9と同じウェーハにおける膜形成後分布の一例を示している。図9、図10において、黒点が欠陥の位置を示している。また、図9、図10においては、KLA-Tencor社のSP3を用いて、26nm以上のサイズの欠陥を検出した例、つまり検出感度を26nmとして欠陥検出を行った例を示している。また、図10においては、LP-CVD法により、75nmの厚さのシリコン窒化膜を成膜したときの欠陥分布を示している。

【0050】

S4の工程では、図9の欠陥分布と図10の欠陥分布とを比較する。図11は、図10の欠陥分布のうち、図9の欠陥分布から増加した座標点のみを示している。図11の各欠陥は、シリコン窒化膜の形成によって新たに形成された欠陥、すなわち、表面検査装置で検出できない微小欠陥に起因してシリコン窒化膜に形成された拡張突起部である。

【0051】

そこで、次に、S4の工程で抽出した座標点（図11の欠陥分布）の詳細を検査するため、その座標点をSEMを用いて観察する（S5）。このとき、抽出した座標点の全てを

10

20

30

40

50

観察しても良いし、一部の座標点のみを観察しても良い。そして、SEM観察像から、シリコン窒化膜上に突起部が形成されていることや、その突起部の形状等を確認する。図12は、70nmのシリコン窒化膜を成膜した後のSEM観察像の一例を示している。このとき、SEMに付随したEDX分析器により観察像の元素分析を行うなどして、パーティクルやPID等の反応が無い観察像（突起部の内部にパーティクル、PID等の欠陥が存在しない観察像）と、反応がある観察像（突起部の内部にパーティクル、PID等の欠陥が存在する観察像）とを分別しておくが良い。

【0052】

次に、S4の工程で抽出した座標点及びS5の工程で得られたSEM観察像をもとに、SEM観察像の断面をTEM（Transmission Electron Microscope、透過型電子顕微鏡）により観察するためのサンプル（断面TEMサンプル）を、FIB加工装置（FIB：Focused Ion Beam、集束イオンビーム）を用いて作製する（S6）。このとき、SEM観察像（突起部）の中心部を狙うように断面TEMサンプルを作製する。また、S5の工程において、パーティクル、PIDといった欠陥の反応がある観察像とそうでない観察像とを分別した場合には、欠陥の反応がある観察像に対して断面TEMサンプルを作製すると良い。

【0053】

次に、作製した断面TEMサンプルをTEMにより観察する（S7）。図13は、断面TEMの観察像の一例を示している。図13では、シリコン窒化膜に形成された突起部14の内部、かつウェーハ表面13に、パーティクル15の像が写っている例を示している。また、S7の工程では、TEMに付随したEDX分析器を用いて、欠陥の元素分析を行っても良い。そして、得られたTEM観察像（欠陥形状）や元素分析結果に基づいて、パーティクル、PID等の欠陥種の分類や、パーティクル発塵源の特定や原因物質の特定などの分析を行う。

【0054】

なお、S5～S7の工程では、S3の工程で得られた全ての欠陥座標に対して、観察及び分析を行っても良いが、S4の工程で得られた膜形成前後の差分座標のみ、又は差分座標を優先的に観察及び分析を行うことで、表面検査装置で検出できない微小欠陥の検査を効率的に行うことができる。

【0055】

以上説明したように、本実施形態では、ウェーハ上に、上記式1を満たす膜厚でシリコン窒化膜を形成するので、表面検査装置で検出できなかった突起状の微小欠陥も検査（検出、観察、分析）できる。また、シリコン窒化膜を欠陥の保護層として機能させることができ、表面検査装置のレーザーで欠陥が焼失してしまうリスクを軽減できる。さらに、シリコン窒化膜を形成することで、SEM、FIB装置、TEM、EDX分析等の観察、分析において使用する電子線やGaイオンビームに対しても欠陥を保護でき、欠陥の観察、分析を効果的に行うことができる。

【0056】

また、シリコン窒化膜の形成前後で欠陥分布を取得して、それら欠陥分布の差分を抽出しているので、表面検査装置で検出できない微小欠陥の観察、分析を、優先的、効率的に行うことができる。

【0057】

また、ウェーハ上に形成する膜を、パーティクルとして存在することが多い酸化物とは異なる組成のシリコン窒化膜とすることで、膜に形成される突起部を検出しやすくなる。また、断面TEM観察像において、シリコン窒化膜中に存在する欠陥を観察しやすくなる。

【0058】

なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態は例示であり、本発明の特許請求の範囲に記載された技術的思想と実質的に同一な構成を有し、同様な作用効果を奏するものは、いかなるものであっても本発明の技術的範囲に包含される。

【 0 0 5 9 】

例えば、上記実施形態ではウェーハ上にシリコン窒化膜を形成したが、シリコンエピタキシャル膜、シリコン酸化膜、ハフニウム（Hf）酸化膜等、他の膜を形成しても良い。これによっても、微小欠陥を拡張させた突起部を膜に形成できるので、表面検査装置で直接検出できない微小欠陥を検査できる。

【 0 0 6 0 】

また、上記実施形態では、レーザーを用いた表面検査装置により、ウェーハ表面を検査したが、他の方式の表面検査装置を用いてウェーハ表面を検査しても良い。例えば、ウェーハ表面を撮影して、その撮影画像に基づいてウェーハ表面の欠陥を検出しても良い。また、シリコンウェーハ以外のウェーハの欠陥検査に本発明を適用しても良い。

10

【 0 0 6 1 】

上記実施形態において、図4のS1の工程が膜形成前検出工程及び第1の取得工程に相当する。S2の工程が本発明の膜形成工程に相当する。S3の工程が本発明の検出工程及び第2の取得工程に相当する。S4～S7の工程が本発明の観察分析工程に相当する。

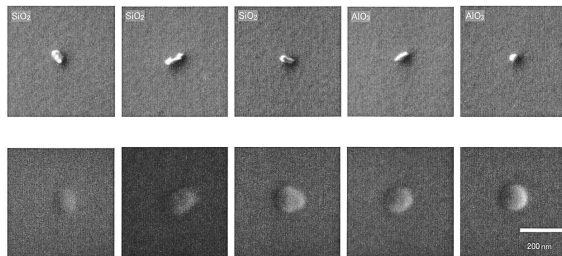
【 符号の説明 】

【 0 0 6 2 】

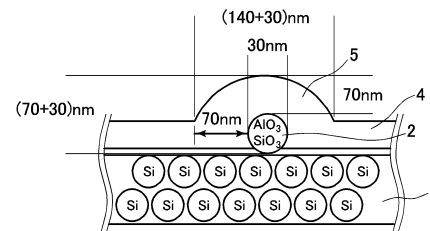
- 1、7 シリコンウェーハ
- 2、10、15 パーティクル
- 4、9 シリコン窒化膜
- 5、11、12、14 突起部

20

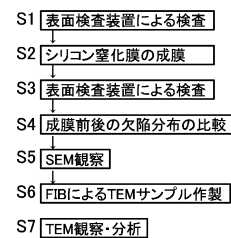
【 図 1 】



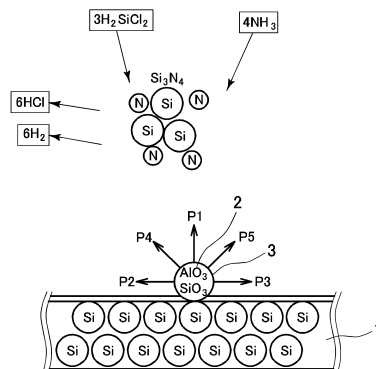
【 図 3 】



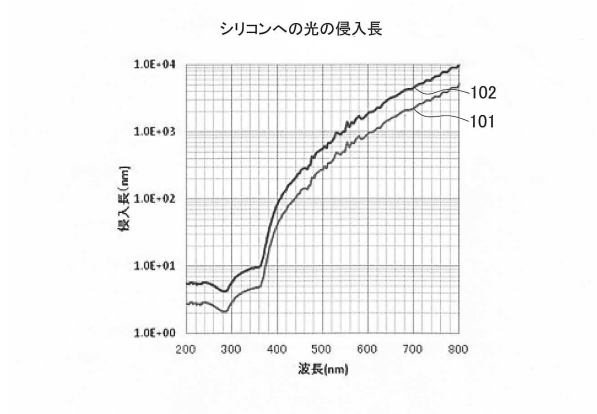
【 図 4 】



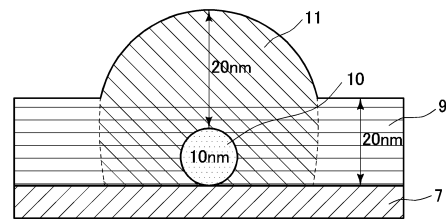
【 図 2 】



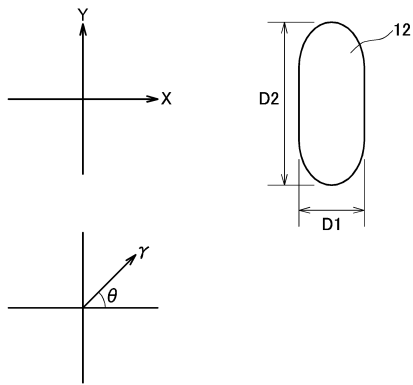
【図 5】



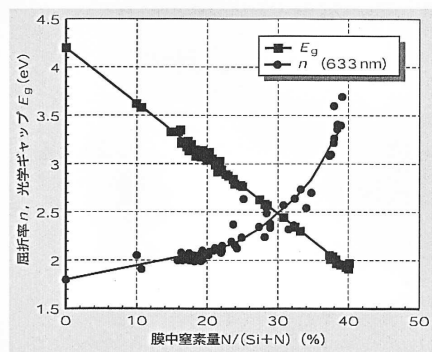
【図 7】



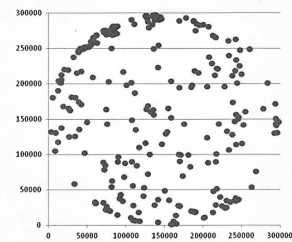
【図 6】



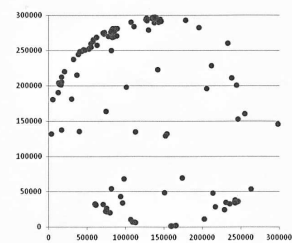
【図 8】



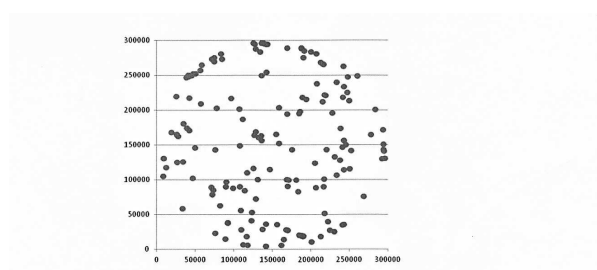
【図 10】



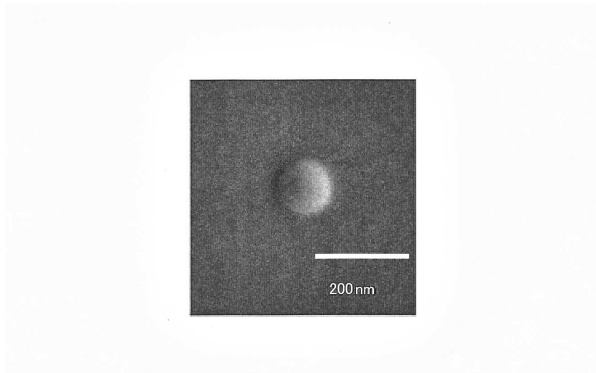
【図 11】



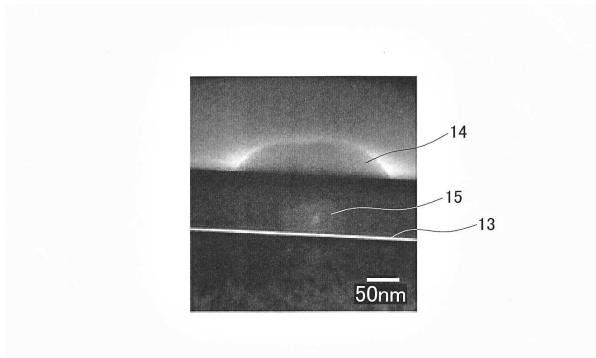
【図 9】



【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 1 N	2 1 / 8 4 - 2 1 / 9 5 8
H 0 1 L	2 1 / 6 6