

明 細 書

発明の名称：

固定砥粒ワイヤ及びワイヤソー並びにワークの切断方法

技術分野

[0001] 本発明は、固定砥粒ワイヤ及びワイヤソー並びにワークの切断方法に関する。

背景技術

[0002] 直径300mmのシリコンインゴット等のワークの切断には、炭化珪素などの砥粒を懸濁させたスラリをワイヤ上に供給して切断を行う従来の遊離砥粒切断方式が主流であるが、切断に要する時間は、番手が#1000～#1500（平均砥粒直径で8～10 μ m程度）の炭化珪素砥粒を使った場合、20～25時間の切断時間を要している。

[0003] 近年、DRAMやNANDフラッシュメモリ、MPU等の半導体素子の高集積化に技術的な限界が見え始め、微細化によるシリコン半導体素子1個当たりのコスト削減に限界が来ていると言われている。そこで、継続的なコスト低減の手段として、ウェーハ1枚当たりの半導体素子数がより多く取得できる直径450mmへの大直径化が検討されている。

[0004] 直径450mmのシリコンインゴットを炭化珪素等の砥粒を使った遊離砥粒方式で切断する場合、原則的にシリコンインゴットの面積比倍の40～50時間の切断時間が必要であり、ウェーハ1枚当たりの生産性は著しく低下する。

そこで、直径450mmのシリコンインゴットの切断には、太陽電池向けシリコン、ガラス、磁性体、水晶、サファイヤや炭化珪素（SiC）のインゴット切断で採用されている、芯線にダイヤモンド砥粒を固着させた固定砥粒ワイヤが使われる（特許文献1参照）。代表的な固定砥粒ワイヤは、最小直径4 μ m、最大直径16 μ mの分布を持つダイヤモンド砥粒を電解メッキで直径0.1mm程度の金属芯線表面に固着させて製造する。

[0005] このような固定砥粒ワイヤを用いたインゴットの切断では、一般的なマルチワイヤソーが用いられ、砥粒を含まないクーラントを走行中の固定砥粒ワイヤに供給しつつ、インゴットをワイヤに押し当てて切断する。平均砥粒直径 $10\text{ }\mu\text{m}$ 程度の炭化珪素などの砥粒を懸濁させたスラリをワイヤ上に供給して切断を行う従来の遊離砥粒切断方式に比べ、切断時間を $1/2 \sim 1/3$ に短縮でき、また遊離砥粒を使わないため、砥粒や金属粉の分離など、切断に使用済みのスラリの廃液の処理に要するコストを低減できる点が大きなメリットとなる。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2010-74056号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 一般に、LSI (Large Scale Integrated circuit; 大規模集積回路)、具体的にはメモリLSIやロジックLSIの微細化にともない、半導体シリコンウェーハには、平坦度やWarpに対し、より厳しい水準のものが要求されるようになっている。ここで、Warpとはシリコンウェーハが真空吸着されていない自然状態の形状を表すパラメータであり、図5に示すように、測定面には厚さ中央面を使用し、基準面には厚さ中央面のベストフィット面を用い、測定面から基準面を引いた値の最大値と最小値の差として定義されている。ウェーハのWarpが悪化すると、デバイス露光工程において、フォーカスずれやオーバーレイの問題を引き起す可能性があり、特に直径450mmの大直径ウェーハでは、これらの問題が顕著になると言われている。

[0008] 固定砥粒ワイヤを用いたシリコンインゴットの切断で課題となるのは、切断後のウェーハ形状精度である。直径450mm、長さ120mm程度のシリコンインゴットを準備し、直径0.1mmの芯線表面に最小直径 $4\text{ }\mu\text{m}$ 、

最大直径 $16\ \mu\text{m}$ の分布を持つダイヤモンド砥粒を固着させた固定砥粒ワイヤを用いて 23 時間で切断した場合と、平均砥粒直径 $10\ \mu\text{m}$ 程度の炭化珪素砥粒を懸濁させたスラリをワイヤ上に供給して切断を行う従来の遊離砥粒を用いて 48 時間で切断した場合の切断されたウェーハの TTV（ウェーハ面内厚さの最大値と最小値の差を表す）と Warp を比較した。

[0009] 図 6 に示すように、従来の一般的な固定砥粒ワイヤで切断されたウェーハの TTV、Warp はともに、遊離砥粒方式で切断されたウェーハの TTV、Warp より著しく劣る。更に、固定砥粒ワイヤによる切断では、切断時間を延長しても、TTV や Warp のレベルに顕著な改善はなく、切断中に固定砥粒ワイヤがワーク内を蛇行して進む傾向があることが知られている。

[0010] 本発明は前述のような問題に鑑みてなされたもので、ワーク切断中の固定砥粒ワイヤの蛇行を抑制することができ、ワークから切り出されたウェーハの TTV、Warp を改善することができる固定砥粒ワイヤ及びワイヤソー並びにワークの切断方法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

[0011] 上記目的を達成するために、本発明によれば、芯線の表面に砥粒が固着された固定砥粒ワイヤであって、前記芯線の表面における、単位面積当たりの前記砥粒の個数である砥粒数密度が $1200\ \text{個}/\text{mm}^2$ 以上であり、かつ、全ての各砥粒間の重心間距離の分布のうち、全砥粒の平均円相当直径以下のものが占める割合が 2% 以下のものであることを特徴とする固定砥粒ワイヤを提供する。

[0012] 上記砥粒数密度の範囲であれば、砥粒数密度が小さいために生じる、ワークの切断の際の固定砥粒ワイヤの蛇行を抑制することができる。また一方、砥粒数密度が高くなると、砥粒の凝集が生じやすくなり、それによってワーク切断中の固定砥粒ワイヤの蛇行が生じやすくなるが、本発明では上記のように平均円相当直径以下の重心間距離の分布割合が、2% 以下であるため、砥粒が均一に分散して固着しており、砥粒の凝集が少ない。このため、砥粒の凝集による固定砥粒ワイヤの蛇行を抑制することができる。従って、本発

明の固定砥粒ワイヤは、ワークから切り出されたウェーハのTTV、Warp等を改善することができ、形状精度の良いウェーハを高い生産性で得ることを可能にするものとなる。

[0013] このとき、前記砥粒がダイヤモンド砥粒であるものとすることができる。

本発明の固定砥粒ワイヤの砥粒としてはダイヤモンド砥粒が好適である。

[0014] またこのとき、前記固定砥粒ワイヤは、前記芯線の表面に、最小砥粒直径4 μ m、最大砥粒直径16 μ mの粒度分布を持つ前記砥粒が固着されたものとすることができる。

本発明の固定砥粒ワイヤの砥粒としては、このような粒度分布を持つものが好適であり、効率よくワークの切断を行うことができる。

[0015] また、上記目的を達成するために、本発明によれば、上記の本発明の固定砥粒ワイヤが複数のワイヤガイド間に螺旋状に巻回されることで形成されたワイヤ列と、ワークを保持しながら前記ワイヤ列に前記ワークを押し当てるワーク送り手段と、前記ワークと前記ワイヤとの接触部にクーラントを供給するノズルを具備し、前記ノズルから前記ワイヤに前記クーラントを供給しながら、前記ワーク送り手段により前記ワークを前記ワイヤ列に押し当てることでウェーハ状に切断するワイヤソーを提供する。

[0016] このようなワイヤソーであれば、ワーク切断中の固定砥粒ワイヤの蛇行を抑制することができ、ワークから切り出されたウェーハのTTV、Warpを改善することができ、形状精度の良いウェーハを、遊離砥粒方式のものよりも高い生産性で得ることを可能にするものとなる。

[0017] 更に、上記目的を達成するために、本発明によれば、芯線の表面に砥粒が固着された固定砥粒ワイヤを準備し、該準備した固定砥粒ワイヤを複数のワイヤガイド間に螺旋状に巻回してワイヤ列を形成し、前記固定砥粒ワイヤを軸方向に往復走行させながら、前記ワイヤ列にワークを押し当て、該ワークをウェーハ状に切断するワークの切断方法であって、前記固定砥粒ワイヤを準備する際に、前記固定砥粒ワイヤの表面を撮像し、該撮像した画像上で、二値化画像解析により砥粒を抽出するステップと、該抽出した砥粒の個数を

求め、単位面積当たりの前記砥粒の個数である砥粒数密度を求めるステップと、前記抽出した各砥粒の円相当直径を求め、全砥粒の平均円相当直径を算出するステップと、前記抽出した各砥粒の重心を求め、全ての各砥粒間の重心間距離を求めるステップと、前記求めた砥粒数密度が $1200\text{個}/\text{mm}^2$ 以上であり、かつ、前記求めた全ての各砥粒間の重心間距離の分布のうち、前記算出した全砥粒の平均円相当直径以下のものが占める割合が2%以下の条件を満たす固定砥粒ワイヤを選別するステップとを有し、該選別した固定砥粒ワイヤを用いて前記ワークの切断をすることを特徴とするワークの切断方法を提供する。

[0018] このようにすれば、砥粒数密度が $1200\text{個}/\text{mm}^2$ 以上であり、かつ、全ての各砥粒間の重心間距離の分布のうち、全砥粒の平均円相当直径以下のものが占める割合が2%以下の条件を満たす固定砥粒ワイヤを簡便かつ正確に選別し、ワークの切断に使用できるため、形状精度の高いウェーハを、遊離砥粒方式より生産性良くワークから切り出すことができる。しかも、遊離砥粒方式に比べてスラリの廃液処理のコストを低減できる。

[0019] このとき、前記固定砥粒ワイヤの表面の撮像には、走査型電子顕微鏡又は共焦点レーザー顕微鏡を使用することができる。

本発明では、このような固定砥粒ワイヤの表面の観察手段を用いることが好適である。

[0020] またこのとき、前記砥粒をダイヤモンド砥粒とすることができる。

このように、固定砥粒ワイヤの砥粒としてダイヤモンド砥粒を使用することが好適である。

[0021] このとき、前記準備する固定砥粒ワイヤを、前記芯線の表面に、最小砥粒直径 $4\mu\text{m}$ 、最大砥粒直径 $16\mu\text{m}$ の粒度分布を持つ前記砥粒を固着したものとすることができる。

本発明では、このような微細な粒度分布を持つものを使用することが好適であり、効率良くワークの切断を行うことができる。

発明の効果

[0022] 本発明の固定砥粒ワイヤ及びワイヤソー並びにワークの切断方法であれば、遊離砥粒方式の切断と比較して切断に要する時間を大幅に短縮でき、かつ、従来の固定砥粒方式の切断よりウェーハのTTV、Warp等の形状精度を大幅に改善することができる。そのため、厳しいウェーハ形状精度が求められるメモリLSIやロジックLSI向け大直径シリコンウェーハ等に対して、生産性に大きなメリットがある固定砥粒ワイヤを用いたシリコンインゴットの切断を適用することができる。しかも、遊離砥粒を使わないため、ウェーハの製造工程において大幅なコストの低減ができる。

図面の簡単な説明

- [0023] [図1]本発明のワイヤソーの一例を示した概略図である。
- [図2]本発明のワークの切断方法の一例を示したフロー図である。
- [図3]実施例1－3、比較例1、2のTTV、Warpの結果を示したグラフである。
- [図4]比較例1－4のTTV、Warpの結果を示したグラフである。
- [図5]Warpの定義を示す説明図である。
- [図6]遊離砥粒方式及び従来の固定砥粒方式で切り出されたウェーハのTTV及びWarpの値を示したグラフである。
- [図7]画像処理ソフトを使用した二値化画像解析の一例を示す画像である。
- [図8]本発明の固定砥粒ワイヤを製造する際に使用できる製造装置の一例を示した概略図である。

発明を実施するための形態

[0024] 以下、本発明について実施の形態を説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。

上記のように、固定砥粒ワイヤを用いるワークの切断方法は、遊離砥粒方式の切断方法と比較して、より短時間でワークの切断を行えるが、切り出されたウェーハの形状精度が悪化してしまうという問題があった。

[0025] そこで、本発明者はこのような問題を解決すべく以下のような検討を重ねた。

固定砥粒ワイヤを使用することによるウェーハの形状精度の悪化は、切断中に固定砥粒ワイヤ自体が蛇行して進行するためと考えられる。本発明者は、固定砥粒ワイヤの表面の砥粒個数密度のばらつきがワイヤの蛇行要因であると仮定し、繰り返し実験を行った。

[0026] その結果、単位面積当たりの砥粒の個数である砥粒数密度の増加とともに、TTVやWarp等は改善する傾向が見られたものの、遊離砥粒方式で切断した場合のTTVやWarp等の形状精度に劣る。また、所定の砥粒数密度を超える固定砥粒ワイヤでは、逆にTTVやWarp等が大きく悪化してしまった。即ち、単に砥粒数を増加させるだけでは良好な形状精度のウェーハを得られないことを知見した。

[0027] そこで、所定の砥粒数密度を超える固定砥粒ワイヤでウェーハ形状が悪化した原因を調査したところ、固定砥粒ワイヤの表面における砥粒の分散状態（凝集状態）によりウェーハの形状精度が変化し、砥粒が所定レベルで均一に分散していれば良好な形状精度を得られることが確認できた。

[0028] 以上より、芯線の表面の砥粒を高密度とする、すなわち砥粒の個数を増加させ、かつ増加させた砥粒を均一に分散させることでウェーハの形状精度の悪化を抑制できることを知見した。そして、砥粒数密度が $1200\text{個}/\text{mm}^2$ 以上、かつ、全ての各砥粒間の重心間距離の分布のうち、全砥粒の平均円相当直径以下の各砥粒間の重心間距離が占める割合が2%以下である固定砥粒ワイヤであれば、上記問題を解決できることに想到し、本発明を完成させた。

[0029] 以下、本発明について詳細に説明する。

まず、本発明の固定砥粒ワイヤについて詳細に説明する。

本発明の固定砥粒ワイヤは、芯線の表面に砥粒が固着されているものである。

この芯線は、金属製とすることができ、その直径は例えば直径0.1mm程度とすることができる。

[0030] また、本発明の固定砥粒ワイヤの芯線の表面に固着されている砥粒は、最

小砥粒直径 $4\ \mu\text{m}$ 、最大砥粒直径 $16\ \mu\text{m}$ の粒度分布を持つ砥粒とすることができる。

このような、微細な粒度分布を持つ砥粒を有する固定砥粒ワイヤであれば、ウェーハの TTV や Warp 等の形状品質をより良好にできる。

[0031] 更に、芯線に固着されている砥粒の種類は、ダイヤモンド砥粒とすることができる。

このように、本発明の固定砥粒ワイヤの砥粒としては、ダイヤモンド砥粒が特に好適である。

[0032] そして、本発明の固定砥粒ワイヤは芯線の表面における、単位面積当たりの砥粒の個数である砥粒数密度が $1200\ \text{個}/\text{mm}^2$ 以上であり、かつ、全ての各砥粒間の重心間距離の分布のうち、全砥粒の平均円相当直径以下のものが占める割合が 2% 以下であることを特徴とする。

[0033] 基本的に、表面に固着される砥粒の個数は多い方がウェーハの形状精度の悪化を抑制できる。本発明のように単位面積当たりの砥粒の個数が $1200\ \text{個}/\text{mm}^2$ 以上であれば、砥粒が少ないことによるウェーハの形状精度の悪化を抑制し、ワークを良好な形状を有するウェーハに切断をすることが可能なものとなる。さらには、 $1500\ \text{個}/\text{mm}^2$ 以上とすることができる。

また、砥粒の個数が増加して、砥粒の分布が芯線表面の特定の箇所に偏ってしまった場合（砥粒が凝集してしまった場合）、ワークの切断中に固定砥粒ワイヤが蛇行し、ウェーハの形状精度が悪化してしまう。このような砥粒の凝集状態は、砥粒の重なりとして解析することができ、全砥粒間の重心間距離のうち、それらの分布において、砥粒の平均円相当直径以下に占める割合が多いほど砥粒が凝集していると判断できる。

従って、本発明のように、全ての各砥粒間の重心間距離の分布の中で、全砥粒の平均円相当直径以下となる重心間距離の割合が 2% 以下となっているものであれば、砥粒の分布の偏りは極めて抑制されており、均一に分散していて凝集が緩和されている状態であり、凝集起因のウェーハの形状精度の悪化を抑制できるものとなる。

[0034] ここで、このような本発明の固定砥粒ワイヤの製造方法の一例について説明する。

本発明の固定砥粒ワイヤは、電解ニッケルめっきを利用して、金属芯線の表面にダイヤモンド砥粒などの砥粒を固着して製造することができる。この金属芯線には、例えばピアノ線などが用いられる。

[0035] 具体的には、図8に示すような、製造装置を使用して固定砥粒ワイヤを製造することができる。

図8に示す固定砥粒ワイヤの製造装置20において、まず、前処理槽21にて、アセトン溶液22や塩酸溶液23を用いて、芯線24の表面の汚れや錆を除去する。その後、めっき槽25にて、芯線24を、ダイヤモンド砥粒などの砥粒26を分散させためっき液27中を通過させ、正に帯電させたニッケル電極から溶出するニッケルイオンとともにダイヤモンド砥粒を芯線24表面に電着させることで固定砥粒ワイヤ1を製造できる。尚、上記説明では、代表的な製造方法及びその際に使用する製造装置を例示したが、本発明の固定砥粒ワイヤの製造方法は、これに限定されることはなく、他の製造方法を使用しても本発明の固定砥粒ワイヤを製造できる。

[0036] 次に、本発明のワイヤソーについて図1を参照して説明する。

[0037] 図1に示すように、固定砥粒方式のワイヤソー11は、主にワークWを切断するための固定砥粒ワイヤ1、溝付きローラ2、ワイヤ張力付与機構3、3'、ワーク送り手段4、クーラント供給手段5等で構成されている。そして、この固定砥粒ワイヤ1は上記説明した本発明の固定砥粒ワイヤである。

[0038] 固定砥粒ワイヤ1は、一方のワイヤリール6から繰り出され、トラバーサを介してパウダクラッチ（定トルクモータ）やダンサローラ（デッドウェイト）等からなるワイヤ張力付与機構3を経て、溝付きローラ2に入っている。この溝付きローラ2は鉄鋼製円筒の周囲にポリウレタン樹脂を圧入し、その表面に所定のピッチで溝を切ったローラとすることができる。

[0039] 固定砥粒ワイヤ1が複数の溝付きローラ2に300～400回程度巻回されることによってワイヤ列が形成される。固定砥粒ワイヤ1はもう一方のワ

イヤ張力付与機構 3' を経てワイヤリール 6' に巻き取られている。このように巻回された固定砥粒ワイヤ 1 が駆動用モータ 10 によって往復走行できるようになっている。ここで、固定砥粒ワイヤ 1 を往復走行させる際、固定砥粒ワイヤ 1 の両方向への走行距離を同じにするのではなく、ワイヤ新線が供給されるように、片方向への走行距離の方が長くなるようにすることができる。このようにして、固定砥粒ワイヤ 1 の往復走行を行いながら長い走行距離の方向に新線が供給される。

[0040] クーラント供給手段 5 はタンク 7、チラー 8、ノズル 9 等から構成される。ノズル 9 は固定砥粒ワイヤ 1 が溝付きローラ 2 に巻回されることで形成されたワイヤ列の上方に配置されている。このノズル 9 はタンク 7 に接続されており、クーラントはチラー 8 により供給温度が制御されてノズル 9 から固定砥粒ワイヤ 1 に供給される。

[0041] ワーク W はワーク送り手段 4 によって保持される。このワーク送り手段 4 はワーク W をワイヤの上方から下方に向かって押し下げることによって、ワーク W を往復走行する固定砥粒ワイヤ 1 に押し当て切断する。この際、コンピュータ制御で予めプログラムされた送り速度で所定の送り量だけ保持したワーク W を送り出すように制御することが可能である。また、ワーク W の切断を完了させた後、ワーク W の送り出し方向を逆転させることにより、ワイヤ列から切断済みワーク W を引き抜くことができる。

[0042] このような本発明の固定砥粒ワイヤを具備するワイヤソーであれば、遊離砥粒方式のワイヤソーより切断時間を大幅に短縮でき、かつ、従来の固定砥粒方式のワイヤソーより良好な形状精度でワークを切断することができる。

[0043] 次に、本発明のワークの切断方法について説明する。

本発明のワークの切断方法は、以下に説明する図 2 に示すようなステップを有する。

[0044] まず、固定砥粒ワイヤを準備するがこの際に、固定砥粒ワイヤの表面を撮像して、撮像した画像上で二値化画像解析により砥粒を抽出する（図 2 の S101）。

ここで、固定砥粒ワイヤの表面の撮像には、走査型電子顕微鏡又は共焦点レーザー顕微鏡を使用することができる。

特に固定砥粒ワイヤの半径程度の焦点深度を持つ走査型電子顕微鏡又は共焦点レーザー顕微鏡であれば、固定砥粒ワイヤの表面の撮像に好適に用いることができる。

また、撮像した画像は、例えば画像処理ソフトWinROOF（三谷商事社製）等を使用して図7のように二値化画像解析できる。

[0045] 次に、二値化画像解析により抽出した砥粒から砥粒の個数を求め、単位面積当たりの前記砥粒の個数である砥粒数密度を求める（図2のS102）。

更に、抽出した各砥粒の円相当直径を求め、全砥粒の平均円相当直径を算出する（図2のS103）。

更に、抽出した各砥粒の重心を求め、全ての各砥粒間の重心間距離を求める（図2のS104）。

このようにして、固定砥粒ワイヤ表面の砥粒数及び砥粒の分散状態の指標となる砥粒数密度、平均円相当直径、各砥粒間の重心間距離を求める。

尚、上記の抽出した砥粒から砥粒数密度を求めるステップ（図2のS102）、平均円相当直径を算出するステップ（図2のS103）、重心間距離を求めるステップ（図2のS104）を行う順番は図2のフロー図に示した順番に限定されることはなく、上記3つのステップをどのような順番で行っても良い。

[0046] ここで、固定砥粒ワイヤの表面を撮像して得られた画像は平面画像である。実際のワイヤの表面形状は円筒形状をしているため、砥粒数密度の母数となる面積をより厳密に測定する場合は、平面画像を円筒形状に変換してから測定することができる。また同様に、全砥粒の重心間距離を求める際にも、同様に平面画像を円筒形状に変換してから求めることができる。一方で、できる限り簡便にこれらの指標を算出したい場合には、敢えて平面画像のまま扱い、砥粒数密度の母数となる面積や全砥粒の重心間距離を求めることができる。このように、所望の測定精度、コスト等に応じて、円筒形状への変換

測定は適宜決定することができる。

[0047] 次に、固定砥粒ワイヤを選別する（図2のS105）。

ここでは、砥粒数密度を求めるステップ（図2のS102）で求めた砥粒数密度が1200個/mm²以上であり、かつ、重心間距離を求めるステップ（図2のS104）で求めた全ての各砥粒間の重心間距離の分布のうち、平均円相当直径を算出するステップ（図2のS103）で算出した全砥粒の平均円相当直径以下のものが占める割合が2%以下の条件を満たす固定砥粒ワイヤを選別する。

[0048] そして、選別した固定砥粒ワイヤを複数のワイヤガイド間に螺旋状に巻回してワイヤ列を形成し、固定砥粒ワイヤを軸方向に往復走行させながら、ワイヤ列にワークを押し当て、クーラントを供給しつつ、該ワークをウェーハ状に切断する（図2のS106）。以上のようにして、ワークの切断を完了する。

[0049] 本発明のように、固定砥粒ワイヤの表面を撮像し、撮像した画像から砥粒密度、重心間距離、平均円相当直径を測定して砥粒の個数及び分散状態（凝集状態）を評価する手法であれば、簡便且つ正確に固定砥粒ワイヤの表面の砥粒の状態を評価できる。

[0050] なお、例えば、従来の固定砥粒ワイヤの評価・検査方法として、ワイヤに対して光を照射してワイヤの投影画像を撮影し、砥粒の個数、砥粒間隔などを検出する方法等が提案されている（例えば、特開2006-95644号公報参照）。しかし、投影による砥粒の検出では、観察される砥粒の領域がごく一部に限られ、さらに、砥粒間隔の値を、投影画像の輪郭線から標準偏差を求めることで得られるが、砥粒凝集を判定することは難しかった。

それに対して、上記したように本発明であれば、簡便且つ正確に固定砥粒ワイヤの表面の砥粒の状態を評価できる。

[0051] このようにして、表面に固着される砥粒の個数が多い、即ち砥粒数密度が1200個/mm²以上であり、且つ砥粒の分布が、偏りが抑制されて均一に分散した状態である、即ち各砥粒の重心間距離のうち、平均円相当直径以下

の長さであるものの割合が2%以下である固定砥粒ワイヤを、簡便且つ正確に選別し切断に使用できるため、ウェーハの形状精度の悪化を抑制できる。更に、固定砥粒方式の切断であるため切断に要する時間を大幅に短縮し、生産性を向上させることができるし、ウェーハの製造に要するコストを低減できる。

[0052] このとき、砥粒としてダイヤモンド砥粒を用いることが好適である。

固定砥粒方式の砥粒としてダイヤモンド砥粒はよく用いられている。

[0053] また、準備する固定砥粒ワイヤを、芯線の表面に、最小砥粒直径4 μm 、最大砥粒直径16 μm の粒度分布をもつ砥粒を固着したものとすることができる。

上記砥粒数密度及び上記各砥粒間の重心間距離の割合の条件を満たし、さらに砥粒の粒度分布がこのようなものであれば、より形状精度のよいウェーハを得ることができる。尚、粒度分布を上記の範囲に調節するには、粒度分布が上記範囲を満たす砥粒を予め用意し、芯線に固着すれば良い。

[0054] また、本発明のワークの切断方法は、特に直径が450 mm以上の単結晶シリコンインゴットの切断に好適である。

このような大直径のシリコン単結晶インゴットを、固定砥粒ワイヤを使用して切断する場合、従来の固定砥粒ワイヤを使用した切断方法では形状精度が大幅に悪化してしまうが、本発明のワークの切断方法であれば形状精度の悪化を大幅に抑制することができる。

実施例

[0055] 以下、本発明の実施例及び比較例を示して本発明をより具体的に説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

[0056] (実施例1)

図2に示す本発明のワークの切断方法に従って選別した固定砥粒ワイヤを、図1に示すワイヤソーに装着し、本発明のワークの切断方法に従ってワークを切断した。そして、ワークの切断後の全てのウェーハのTTV及びWar pの値を測定し、これらの平均値を算出した。

[0057] ここで使用した固定砥粒ワイヤは、直径0.1 mmの芯線に、最小直径6 μm 、最大直径12 μm の粒度分布を持つダイヤモンド砥粒を固着させたものとした。

固定砥粒ワイヤは砥粒数密度が1200個/ mm^2 、全ての各砥粒間の重心間距離の分布のうち、全砥粒の平均円相当直径以下のものが占める割合が0.9%であった。尚、固定砥粒ワイヤの表面の撮像には、走査型電子顕微鏡を使用し、撮像した画像の二値化画像解析には画像処理ソフトWinROOF（三谷商事社製）を使用した。

また、切断対象のワークは、直径450 mm、長さ約120 mmのシリコン単結晶インゴットを用いた。

[0058] 表1に実施例1、後述する実施例2、3、比較例1-4における、固定砥粒ワイヤの砥粒数密度（個/ mm^2 ）、平均円相当直径（ μm ）、重心間距離の平均値（ μm ）、及び全ての各砥粒間の重心間距離の分布のうち、全砥粒の平均円相当直径以下のものが占める割合（%）をまとめたものを示す。

また、実施例1-3、比較例1-4における切断後のウェーハのTTV及びWarpの測定結果を、表2、図3に示す。

[0059] 実施例1では、切り出されたウェーハのTTVの平均値は12.55（ μm ）、Warpの平均値は15.1（ μm ）となり後述する比較例よりも大幅に形状精度のよいウェーハを得られた。

[0060] （実施例2）

砥粒数密度が1500個/ mm^2 、全ての各砥粒間の重心間距離の分布のうち、全砥粒の平均円相当直径以下のものが占める割合が2.0%である固定砥粒ワイヤを使用したこと以外、実施例1と同様な条件で、シリコン単結晶インゴットを切断し、切り出された全ウェーハのTTV及びWarpの平均値を算出した。

その結果、表2、図3に示すように、TTVの平均値は11.8（ μm ）、Warpの平均値は12.5（ μm ）となり後述する比較例よりも大幅に形状精度のよいウェーハを得られた。

[0061] (実施例3)

砥粒数密度が1500個/mm²、全ての各砥粒間の重心間距離の分布のうち、全砥粒の平均円相当直径以下のものが占める割合が1.5%である固定砥粒ワイヤを使用したこと以外、実施例1と同様な条件で、シリコン単結晶インゴットを切断し、切り出された全ウェーハのTTV及びWarpの平均値を算出した。

その結果、表2、図3に示すように、TTVの平均値は12.43(μm)、Warpの平均値は10.45(μm)となり後述する比較例よりも大幅に形状精度のよいウェーハが得られた。また、このTTV及びWarpの値は遊離砥粒方式の切断と同等の形状品質(図6参照)であった。従って、本発明であれば、固定砥粒ワイヤを使用することで切断時間の大幅な短縮ができ、更には、遊離砥粒を使用した場合と同等の形状精度のウェーハが得られることが確認できた。なお、実施例2、3は実施例1よりもTTV及びWarpが改善されている。これは、各砥粒間の重心間距離の分布における上記割合を2%以下に保ちつつ、砥粒数密度が実施例1よりも高い1500個/mm²であったためと考えられる。

[0062] (比較例1)

砥粒数密度が900個/mm²、全ての各砥粒間の重心間距離の分布のうち、全砥粒の平均円相当直径以下のものが占める割合が1.6%である固定砥粒ワイヤを使用したこと以外、実施例1と同様な条件で、シリコン単結晶インゴットを切断し、切り出された全ウェーハのTTV及びWarpの平均値を算出した。

その結果、図3、4、表2に示すように、TTVの平均値は26.81(μm)、Warpの平均値は32.22(μm)となった。このように、砥粒数が少ない、即ち砥粒数密度が1200個/mm²未満の場合、ウェーハのTTV、Warpがともに悪化し、形状精度が著しく悪いウェーハとなってしまうことが確認された。

[0063] (比較例2)

砥粒数密度が $1000\text{個}/\text{mm}^2$ 、全ての各砥粒間の重心間距離の分布のうち、全砥粒の平均円相当直径以下のものが占める割合が 1.8% である固定砥粒ワイヤを使用したこと以外、実施例1と同様な条件で、シリコン単結晶インゴットを切断し、切り出された全ウェーハのTTV及びWarpの平均値を算出した。

その結果、図3、4、表2に示すように、TTVの平均値は $20(\mu\text{m})$ 、Warpの平均値は $28(\mu\text{m})$ となった。このように、砥粒数密度が $1200\text{個}/\text{mm}^2$ 未満の場合、ウェーハのTTV、Warpがともに悪化し、形状精度が悪いウェーハとなってしまうことが確認された。

[0064] (比較例3)

砥粒数密度が $1200\text{個}/\text{mm}^2$ 、全ての各砥粒間の重心間距離の分布のうち、全砥粒の平均円相当直径以下のものが占める割合が 3.8% である固定砥粒ワイヤを使用したこと以外、実施例1と同様な条件で、シリコン単結晶インゴットを切断し、切り出された全ウェーハのTTV及びWarpの平均値を算出した。

その結果、図4、表2に示すように、TTVの平均値は $16.64(\mu\text{m})$ 、Warpの平均値は $18.25(\mu\text{m})$ となった。このように、砥粒数密度が $1200\text{個}/\text{mm}^2$ 以上の場合であっても、砥粒数密度が増加するにともない、各砥粒間の重心間距離の平均円相当直径以下のものの割合が 2.0% を超え、砥粒が凝集した状態となっていると、ウェーハのTTV、Warpがともに悪化し、形状精度が悪いウェーハとなってしまうことが確認された。

[0065] (比較例4)

砥粒数密度が $1500\text{個}/\text{mm}^2$ 、全ての各砥粒間の重心間距離の分布のうち、全砥粒の平均円相当直径以下のものが占める割合が 4.3% である固定砥粒ワイヤを使用したこと以外、実施例1と同様な条件で、シリコン単結晶インゴットを切断し、切り出された全ウェーハのTTV及びWarpの平均値を算出した。

その結果、図4、表2に示すように、TTVの平均値は22.57 (μm)、Warpの平均値は29.04 (μm)となった。このように、砥粒数密度が増加するにともない、砥粒の凝集が進んだ場合、ウェーハのTTV、Warpが更に悪化し、形状精度が著しく悪いウェーハとなってしまうことが確認された。

[0066] [表1]

ワイヤ	砥粒数密度 [個/mm ²]	平均円相当 直径 [μm]	重心間距離(分布)	
			平均 [μm]	平均円相当径以下の割合
比較例1	900	11.7	146	1.60%
比較例2	1000	13.1	142.5	1.80%
比較例3	1200	12	141.8	3.80%
比較例4	1500	12.3	137.1	4.30%
実施例1	1200	14.9	140.4	0.90%
実施例2	1500	12.8	139.5	2.00%
実施例3	1500	15.8	142.8	1.50%

[0067] [表2]

	TTV [μm]	Warp [μm]
比較例1	26.81	32.22
比較例2	20	28
比較例3	16.64	18.25
比較例4	22.57	29.04
実施例1	12.55	15.1
実施例2	11.8	12.5
実施例3	12.43	10.45

[0068] 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。

請求の範囲

- [請求項1] 芯線の表面に砥粒が固着された固定砥粒ワイヤであって、
前記芯線の表面における、単位面積当たりの前記砥粒の個数である砥粒数密度が $1\,200$ 個/ mm^2 以上であり、かつ、全ての各砥粒間の重心間距離の分布のうち、全砥粒の平均円相当直径以下のものが占める割合が 2% 以下のものであることを特徴とする固定砥粒ワイヤ。
- [請求項2] 前記砥粒がダイヤモンド砥粒であることを特徴とする請求項1に記載の固定砥粒ワイヤ。
- [請求項3] 前記固定砥粒ワイヤは、前記芯線の表面に、最小砥粒直径 $4\,\mu\text{m}$ 、最大砥粒直径 $16\,\mu\text{m}$ の粒度分布を持つ前記砥粒が固着されたものであることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の固定砥粒ワイヤ。
- [請求項4] 請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の固定砥粒ワイヤが複数のワイヤガイド間に螺旋状に巻回されることで形成されたワイヤ列と、ワークを保持しながら前記ワイヤ列に前記ワークを押し当てるワーク送り手段と、前記ワークと前記ワイヤとの接触部にクーラントを供給するノズルを具備し、前記ノズルから前記ワイヤに前記クーラントを供給しながら、前記ワーク送り手段により前記ワークを前記ワイヤ列に押し当てることでウェーハ状に切断するワイヤソー。
- [請求項5] 芯線の表面に砥粒が固着された固定砥粒ワイヤを準備し、該準備した固定砥粒ワイヤを複数のワイヤガイド間に螺旋状に巻回してワイヤ列を形成し、前記固定砥粒ワイヤを軸方向に往復走行させながら、前記ワイヤ列にワークを押し当て、該ワークをウェーハ状に切断するワークの切断方法であって、
前記固定砥粒ワイヤを準備する際に、
前記固定砥粒ワイヤの表面を撮像し、該撮像した画像上で、二値化画像解析により砥粒を抽出するステップと、
該抽出した砥粒の個数を求め、単位面積当たりの前記砥粒の個数で

ある砥粒数密度を求めるステップと、

前記抽出した各砥粒の円相当直径を求め、全砥粒の平均円相当直径を算出するステップと、

前記抽出した各砥粒の重心を求め、全ての各砥粒間の重心間距離を求めるステップと、

前記求めた砥粒数密度が $1\,200$ 個/ mm^2 以上であり、かつ、前記求めた全ての各砥粒間の重心間距離の分布のうち、前記算出した全砥粒の平均円相当直径以下のものが占める割合が 2% 以下の条件を満たす固定砥粒ワイヤを選別するステップとを有し、

該選別した固定砥粒ワイヤを用いて前記ワークの切断をすることを特徴とするワークの切断方法。

[請求項6] 前記固定砥粒ワイヤの表面の撮像には、走査型電子顕微鏡又は共焦点レーザー顕微鏡を使用することを特徴とする請求項5に記載のワークの切断方法。

[請求項7] 前記砥粒をダイヤモンド砥粒とすることを特徴とする請求項5又は請求項6に記載のワークの切断方法。

[請求項8] 前記準備する固定砥粒ワイヤを、前記芯線の表面に、最小砥粒直径 $4\,\mu\text{m}$ 、最大砥粒直径 $16\,\mu\text{m}$ の粒度分布をもつ前記砥粒を固着したものとすることを特徴とする請求項5から請求項7のいずれか1項に記載のワークの切断方法。