

論文の内容の要旨

論文題目 大口径シリコンウェーハの高精度形状測定を
目的とした三点支持裏返し法の開発

氏 名 伊藤幸弘

シリコンウェーハや FPD 用ガラス基板の反りや板厚分布などの形状は製品の性能や品質、および製造プロセスに多大なる影響をおよぼす。そのために、シリコンウェーハや FPD 用ガラス基板の高精度な形状測定が求められている。しかし、これらは大面積薄肉であるために測定時におけるクランプ力や重力などの外力により容易に変形し、振動などの外乱の影響を受け易いことにより、高精度な形状測定が困難となっている。そこで、本研究では大口径シリコンウェーハを測定対象とした高精度形状測定を目的として三点支持裏返し法を提案した。

第 1 章「序論」では、本研究における主な測定対象でありシリコンウェーハの表面形状の分類について示し、ウェーハの形状測定において重要なパラメータである反りと板厚の定義について示した。また、ウェーハの反りと板厚偏差の発生メカニズムを示し、それらを測定する意義について示した。そして、本研究で提案する三点支持裏返し法の概要を示し、また、本方法とは測定原理や方法が異なるウェーハの反りと板厚分布の測定技術を紹介した。最後に、本章のまとめとして本研究の目的、および本論文の構成について示した。

第 2 章「三点支持裏返し法」では、本章では、大口径シリコンウェーハを測定対象とした反り形状と板厚分布の同時測定方法である三点支持裏返し法の測定原理、方法、および自重によるたわみの数値解析について示した。

三点支持裏返し法では、安定した測定のために測定対象の中心から同心円上に 120 度の間隔で配置した 3 点で測定対象を水平に下方から支持する。そして、測定対象の反りと自重によるたわみ、および板厚の影響を含んだ測定対象のおもて面の表面形状を測定する。その後、測定対象を裏返して同様にうら面の表面形状を測定する。このとき、反り形状のみが上下反転する。したがって、おもて面とうら面の同じ測定点における測定結果の差を取ることで自重によるたわみと板厚の影響が相殺され、その差の半分が反りとなる。

これに対し、板厚分布は表面形状結果だけでは求まらず、自重によるたわみが必要となる。しかし、自重によるたわみは実測できない。ここで、板厚分布が変化することにより自重によるたわみも変化する。つまり、自重によるたわみは板厚分布の関数である。一方で、板厚分布は自重によるたわみの関数である。そこで、測定対象の平面形状、板厚分布、密度、弾性率、および支持位置を考慮した自重によるたわみの数値解析を用いて、繰り返し計算によるつじつまの合う解を求めることにより測定対象の板厚分布を算出する。

このように、三点支持裏返し法では自重による変形の影響を含まない反りと板厚分布を高精度、かつ同時に測定できることを示した。

第 3 章「支持方法の検討」では、縦型測定法と三点支持裏返し法における支持方法の違いによる測定精度の比較、および三点支持裏返し法における支持方法の優位性について示した。

縦型測定法では、ウェーハを鉛直に保持してウェーハを回転させて測定を行うために、支持機構は複雑である。そして、支持部材の剛性不足による系統誤差が生じることを示した。また、ウェーハをプーリに設置する際の接触点の変動に依存したウェーハの変形が生じ、接触点はウェーハをクランプするごとに異なるため偶然誤差が生じることを示した。

これに対し、三点支持裏返し法では測定対象を水平面上の 3 つの支持点に設置するだけであるため重力、および支持点で生じる摩擦力以外に外力の影響はなく、三点で支持することにより、外乱振動の影響を受けにくいために安定した高精度な形状測定が可能であることを示した。さらに、測定対象の中心点から支持点までの距離を調整することにより自重によるたわみを大幅に減少させることができ、測定センサの分解能が向上することによる形状測定精度の向上が期待できることを示した。

第 4 章「三点支持裏返し法によるシリコンウェーハの反り形状と板厚分布の同時測定」では、直径 300mm シリコンウェーハを測定対象とした、三点支持裏返し法による反り形状と板厚分布の同時測定について示した。

そして、三点支持裏返し法において、ウェーハの中心点を通りウェーハ平面に垂直な軸を回転軸としてウェーハを回転させた場合と回転させない場合で、測定された両者のノッ

チを基準とした反り形状，およびその P-V 値がほぼ同等であることから，三点支持裏返し法により反り形状が高精度に測定可能であることを示した。

さらに，3枚のウェーハについて，板厚分布を $0.1\mu\text{m}$ の精度で測定することができる縦型測定法による板厚分布の結果と比較して，三点支持裏返し法による板厚分布の測定結果は何れのウェーハにおいても $\pm 0.75\mu\text{m}$ 以下の誤差であることを示した。このことから，三点支持裏返し法による板厚分布の測定精度として，ウェーハ生産現場で板厚分布測定に要求されている精度 $1\mu\text{m}$ を満たしていることがわかった。

以上の結果から，三点支持裏返し法により直径 300mm のウェーハの反り形状と板厚分布の同時測定が可能であることを示した。

第5章「三点支持裏返し法による反り形状測定における誤差」では，三点支持裏返し法による直径 300mm のシリコンウェーハの反り形状測定における不確かさの評価を行った。反り形状測定においては表面形状測定結果を使用する。そこで，測定装置に起因した誤差と測定対象に起因した誤差に大別した。さらに，2つの誤差それぞれを系統誤差と偶然誤差に分類し，各誤差の表面形状測定精度に対する影響を評価した。

各誤差要因による不確かさから，表面形状測定の合成不確かさを $0.147\mu\text{m}$ と見積もった。さらに，支持点の位置決め精度の影響が例えば $0.052\mu\text{m}$ ，三点支持ジグに対するウェーハの位置決め精度の影響が最大で $0.036\mu\text{m}$ ，測定対象と支持点に生じる摩擦力による測定対象の変形の影響が最大で $0.08\mu\text{m}$ が積算されることを示した。

一方，ウェーハの反り形状測定を繰り返して不確かさを算出した結果 $0.254\mu\text{m}$ となった。このように反り形状測定について解析的に求めた不確かさと実験的に求めた不確かさが異なった理由として，測定対象であるウェーハの振動の影響について本章では振動振幅が小さい位置で評価したことが考えられる。

第6章「三点支持裏返し法による板厚分布測定における誤差」では，三点支持裏返し法によるシリコンウェーハの板厚分布測定における誤差要因について検討した。

自重によるたわみの数値解析において弾性率の異方性を考慮することが非常に重要であることを示した。さらに，弾性スティフネス定数や密度の不確かさによる自重によるたわみの変化の分布は，ウェーハを三点支持した場合の自重によるたわみの分布と同様に特徴的な分布となることを示した。

三点支持裏返し法による板厚分布測定における誤差の要因として，表面形状測定における偶然誤差が支配的であると考えられる。

第7章「三点支持裏返し法による FPD 用ガラス基板の形状測定」では，三点支持裏返し法における測定対象の応用例として，シリコンウェーハと同様外力により容易に変形し，外乱振動の影響を受け易い FPD 用ガラス基板の反り形状と板厚分布の同時測定を試みた。

ガラス基板の板厚の違いにより光の透過率や反射率，およびうら面からの反射の影響が

変化するため、板厚の薄いガラス基板を測定する場合にはレーザー変位計の感度を調整する必要があり、支持点に反射率の高い材質を使用した場合には、支持点近傍では正確な測定ができないことがわかった。

さらに、ウェーハの場合と同様に、ガラス基板においても支持点の配置を最適化することにより自重によるたわみを大幅に低減することができ、形状測定精度の向上が期待できることを示した。

そして、三点支持裏返し法によりガラス基板の反り形状と板厚分布の同時測定が可能であることを示した。

第 8 章「測定対象の異方性を利用した形状測定精度の向上」では、シリコンウェーハが有する弾性率の異方性や、FPD 用ガラス基板が有する形状の異方性を利用することにより、測定対象自体の振動を低減させることによる形状測定精度の向上について示した。

表面形状測定の不確かさに対する測定対象の振動の影響は大きい。そこで、三点支持に対するウェーハの結晶方位やガラス基板の姿勢を変化させることにより、ウェーハやガラス基板の共振周波数が変化することを示した。これにより、測定装置の運動や地盤振動により励起されるウェーハやガラス基板の共振を抑制させることができ、表面形状測定精度が向上することを示した。

第 9 章「結論」では、第 2 章から第 8 章までに得られた知見をまとめた。

以上、本研究では大口径シリコンウェーハの反り形状と板厚分布の同時測定方法として、三点支持裏返し法を提案した。三点支持裏返し法では簡便な構造の測定装置、および支持方法により安定し、かつ高精度な形状測定を行うことができる。さらに、本測定方法では測定対象を裏返す前後の自重によるたわみが同等であることが前提となる。したがって、この条件を満たすことができれば、ウェーハに限らず非軸対称の測定対象にも適用することができる。そのため、シリコンウェーハや FPD 用ガラス基板の他に、近年の工業製品として欠かすことができない石英ガラスウェーハや太陽電池用多結晶、さらに樹脂製品を測定対象とすることにより製品性能や品質の向上や、製造工程における効率や歩留まりの向上に大きな貢献ができると考える。