

審査の結果の要旨

氏名 伊藤幸弘

半導体デバイスのデザインルールの微細化に伴い、シリコンウェーハの形状精度の更なる向上が要求されている。そして、ウェーハの反り形状や板厚分布は、半導体の性能や品質、および製造工程に多大なる影響をおよぼす。しかし、直径 300mm、厚さ 0.775mm のウェーハなどの形状測定において、ウェーハは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ために、測定精度の向上が困難となっている。この問題を解決するために、本論文では、大口径シリコンウェーハを測定対象とした高精度な反り形状と板厚分布の同時測定方法の開発を目的とする。

三点支持裏返し法では、以下の測定原理により、シリコンウェーハの自重によるたわみの影響を含まない反り形状と板厚分布を同時に測定することができる。本方法の原理は、測定装置の幾何学的な誤差の自己補正方法である反転法と基本的に同様である。本方法では、安定した測定のためにウェーハを水平に 3 点で支持する。まず、測定対象の反り形状、自重によるたわみ、および板厚分布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。ここで、測定対象を裏返すことにより反り形状は上下反転するが、自重によるたわみは常に重力方向に生じる。そこで、おもて面とうら面の表面形状測定結果の差を取ることで、自重によるたわみ、および板厚分布の影響を相殺して反り形状が算出できる。また、板厚分布は以下のように求められる。まず、自重によるたわみは板厚分布に依存する。そこで、仮定した測定対象の板厚分布、弾性率とその異方性、および表面形状測定における支持位置などの境界条件を考慮した、自重によるたわみの数値解析を行う。そして、板厚分布を修正しながら、自重によるたわみの繰り返し計算を行う。これが収束することにより板厚分布が求められる。

本研究では、まず、支持方法について検討を行った。その結果、三点支持裏返し法ではシリコンウェーハを水平面上の 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がなく、また、3 点で支持することにより外乱振動の影響を受けにくく、安定した高精度な形状測

定が可能であることを示した。そして、実験によりウェーハの反り形状測定の不確かさが $0.254\ \mu\text{m}$ であることと、板厚分布を $0.1\ \mu\text{m}$ の精度で測定可能な縦型測定法による測定結果と比較して、板厚分布が $\pm 0.75\ \mu\text{m}$ 以下の誤差で測定できることがわかった。ここで、表面形状測定の誤差は測定装置と測定対象であるウェーハの両方から生じる。そして、反り形状はおもて面とうら面の表面形状測定結果を用いて算出される。したがって、表面形状測定の誤差は、反り形状測定結果に影響をおよぼす。そこで、表面形状測定の誤差の要因を分類し、それぞれの要因により生じる反り形状測定の不確かさを見積もった。さらに、自重によるたわみの数値解析の誤差は、表面形状測定の誤差とともに板厚分布測定結果に影響をおよぼす。そこで、自重によるたわみの数値解析の誤差をもたらす要因を調べた。その結果、ウェーハの振動、表面形状測定装置の振動、およびウェーハと支持点の間に生じる摩擦力によるウェーハの変形が、反り形状や板厚分布の測定精度に大きな影響をおよぼすことがわかった。

次に、フラットパネルディスプレイ (FPD) 用のガラス基板もシリコンウェーハと同様に、外力により容易に変形し振動の影響を受け易いことから、三点支持裏返し法によるガラス基板の反り形状と板厚分布の測定を試みた。そして、ガラス基板の板厚に応じて光学センサの感度を校正しなければならないことと、支持点の反射率が高い場合には光学センサが支持点からの反射の影響を受けるため、ガラス基板の表面形状を高精度に測定できないことがわかった。しかしながら、測定センサの感度を校正し、支持点付近の測定値を補間することにより、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がわかった。

最後に、測定装置の運動や地盤振動によりシリコンウェーハやガラス基板が励振され、表面形状測定精度が低下する。そこで、ウェーハが有する弾性率の異方性や、ガラス基板が有する形状の異方性を利用して、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共振周波数を変化させ、共振を抑制する方法を試みた。その結果、共振が抑制される姿勢において表面形状測定結果の精度が向上することがわかった。

以上のように本研究では、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ている。大口径ウェーハは大面積薄肉であるため、外力により容易に変形し外乱振動などの影響を受けやすい。これに対し本測定方法は、測定対象を 3 つの支持点上に設置するだけなので重力以外の外力の影響が小さく、測定対象は安定している。しかも、測定装置の構造が簡便であるために誤差要因が少ない。これらの特徴により、測定対象が大面積薄肉の場合でも高精度な測定を行うことができる。よって、シリコンウェーハに限らず、矩形の太陽電池用多結晶ウェーハやガラス基板、薄肉の樹脂

部品などにも適用することができる。こうして本測定方法は、従来測定が困難とされてきたシリコンウェーハなどの大面積薄肉である工業製品の高精度な反り形状と板厚分布の同時測定を可能にし、その製造工程における生産効率や歩留まりの向上に寄与するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。