

大口径シリコンウェーハの形状測定における 三角測量式光学センサの測定原理により生じる偏差の実験的検証

東京都立産業技術高等専門学校専攻科創造工学専攻機械工学コース ○馬場浩史郎, ◎伊藤幸弘, 深津拓也

Abstract

In the shape measurement for a silicon wafer, the triangulation type optical sensor is used with the aim of non-contact and high-response measurement. However, in the triangulation type optical sensor, it well known the measurement deviation occurs due to its measurement principle. It can be considered this measurement deviation can not be disregarded by the increase of the deflection due to the wafer diameter enlargement. This paper reports the experimental verification of the measurement deviation occurred due to the measurement principle of the triangulation type optical sensor.

1 研究目的・意義

シリコンウェーハは半導体の基板として用いられており、歩留まり向上のためにウェーハの形状を高精度に測定する必要がある。本研究ではこれまでに 300mm シリコンウェーハの反り形状と板厚偏差の同時測定方法として三点支持裏返し法⁽¹⁾を提案しており、高応答かつ非接触測定が可能であることから三角測量式光学センサを用いている。しかし、その測定原理により測定表面の傾きにより偏差が生じることが一般的に知られている。そこで本研究では、大口径シリコンウェーハの形状測定において測定表面の傾きにより生じる偏差が与える影響について実験的に検証を行った。

2 三角測量式光学センサの原理により生じる測定偏差

本研究では測定時間の短縮とウェーハ表面の損傷防止のために、高応答で非接触測定が可能な三角測量式光学センサ（キーンズ製 LK-G10A）を用いている。この場合、図 1 に示すように、同じ高さにレーザの焦点が合っている、測定表面に傾きが生じている場合には、半導体レーザに対する測定表面の法線が傾くことによりレーザの入射・反射角度が変化するため、ポジションセンサ上の集光位置が変位し偏差が生じる⁽²⁾。偏差の傾向として、測定表面の傾きの増加に比例して増加し、測定表面の傾きが一定の場合、測定対象の変位の増加に比例して増加する。また測定表面の傾きの正負が入れ替わるとと偏差の正負も入れ替わる。

3 測定表面の傾きにより生じる偏差の実験的検証

既知の曲率半径を持つ円筒レンズを測定することにより、幾何学的に得られる理論値と三角測量式光学センサによる測定値の差を測定表面の傾きにより生じる偏差として実験的に検証を行なった。実験結果を図 2 に示す。測定表面の傾きの増加に比例して偏差は大きくなり、また測定表面の傾きゼロ度を境に偏差の正負も入れ替わる様子が確認できた。ここで、測定表面の傾きが $\pm 0.2^\circ$ 以下の範囲において、偏差はセンサの分解能の $0.1\mu\text{m}$ 以下に収まっており、偏差を検出できないこともわかった。したがって、測定表面の最大傾斜が 0.1° である直径 300mm ウェーハの三点支持裏返し法による形状測定においては、三角測量式光学センサの原理により生じる偏差の影響は無視できると考えられる。一方で、シリコンウェーハの大口径化により直径が増大した 450mm ウェーハにおいては測定表面の傾きが 1° を超えることが予想され、測定表面の傾きにより生じる偏差の影響が表れてくると考えられる。

4 300mm ウェーハを用いた偏差の実験的検証

前章の結果を受けて、実際に直径 300mm ウェーハを用いて測定表面の傾きによる偏差の影響を実験的に検証した。

4.1 実験方法および既存の結果

過去に伊藤ら⁽²⁾は 300mm ウェーハの形状測定における測定表面の傾きにより生じる偏差の影響を確認するため、以下の実験を行なった。実験配置図を図 3 に示す。実験には簡単のため汎用フライス盤（HITACHI 製 2MV-V）を使用し、主軸にレーザ変

位計を取り付けて、ステージ上にウェーハを支持するための三点支持ジグを設置することにより、表面形状測定装置の代わりとした。ウェーハの中心を通る直線をフライス盤の X 軸と一致させ測定軸とし、センサの焦点を測定軸に合わせ形状測定を行う。前章で示した測定偏差の検証方法として、同じ傾斜面に対して図 4 のように測定センサのレーザの入射方向を変えて測定し、みかけの測定表面の傾きを反転させることで後述のような差が測定結果に生じることを示せば良い。2 章の理論からは、レーザの入射方向の違いにより測定結果に生じる差と測定表面の傾きの大小は一致する。さらに、測定表面の傾きの正負が入れ替わる変曲点を境に差の正負も入れ替わる。そこで本実験では、レーザの入射方向を変化させて、三点支持ジグに設置して重力によりたわんだウェーハ表面形状を測定し結果を比較した。ここで、レーザの入射方向として、測定センサの走査方向とレーザの入射方向が一致する場合を 0 度、対向する場合を 180 度と定義した。伊藤らが行なった実験結果として入射方向 0 度と 180 度で測定した形状、および互いの差を図 5 に示す。測定形状と差ともに入射方向の違いによる差が生じないと考えられる測定位置 0mm の値を基準としている。測定形状の最大たわみは約 $160\mu\text{m}$ で、測定位置 0mm と 120mm で傾きの正負が入れ替わる。そして差については、傾きの正負が入れ替わる測定位置 0mm を境に差の正負も入れ替わっている。また、形状の変化が大きい測定位置 -150mm 方向、および 50mm から 100mm の間では差が大きくなっている。これらの結果は前述の三角測量式光学センサの原理により生じる偏差の傾向と一致する。しかしながら、3 章で述べた円筒レンズを用いた実験では、測定表面の傾きによる偏差の影響は検出できないと結論づけているため矛盾し、レーザ照射方向の違いによる表面形状の測定値の差の要因は他にあると考えた。

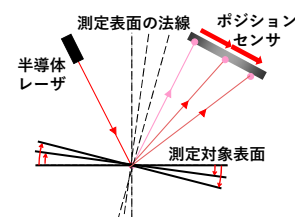


図 1 偏差の発生原理

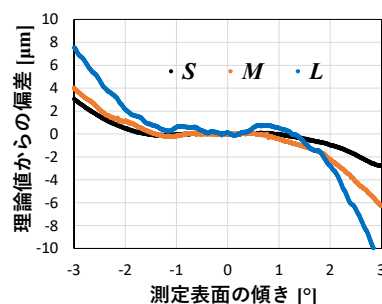


図 2 円筒レンズを用いた実験結果

4.2 フライス盤のステージの運動精度の影響

本来であれば前述の実験は高精度反り形状測定装置(例えば、黒田精工製 ナノメトロ 750F)を用いるべきであるが、簡単のためフライス盤を用いている。そして実験手法としてレーザ照射方向の違いに伴い両者の間でフライス盤のステージの運動軌道が異なっていた。そのため、照射方向の違いによる測定値の差の要因として、測定に使用している汎用フライス盤のステージの運動精度が原因であると考えた。そこで、ステージ上にオプティカルフラットを設置し前述の実験と同様にレーザ照射方向とともにステージの運動軌道を変化させることで軌道の差を算出した。また実験に使用するフライス盤をより運動精度の高い新型 NC フライス盤(イワシタ製 NV2)に変更し、さらにレーザ照射方向の変更に伴う運動軌道の変化がほとんど生じない実験手法を考案し、同様の測定を行った。実験結果を図6に示す。汎用フライス盤は測定位置の右側で測定値の差が増加するような傾向がみられた。測定対象の形状が違うにもかかわらず伊藤らの実験結果と同様の傾向がみられたことから、伊藤が行なった300mm シリコンウェーハの形状測定でみられた測定値の差は測定表面の傾きによるものではなく、汎用フライス盤のステージの運動精度の影響が大きかったと考える。これに対し、新たな実験手法の場合にはレーザ照射方向の違いによる測定値の差は $1\mu\text{m}$ 以下であり、フライス盤の運動精度の影響を大幅に低減できることがわかった。

4.3 実験結果及び考察

前項の結果を受け、改良した実験手法を用い、300mm ウェーハを測定対象として測定表面の傾きにより生じる偏差の影響について検証した。測定はそれぞれ7回行い平均化処理を行っている。実験結果を図7に示す。照射方向の違いによる測定値の差は最大でも $0.4\mu\text{m}$ 程度であり、ほとんどの値が約 $0.3\mu\text{m}$ 程度に収まっている。また、測定センサの分解能とほぼ同等のであり、測定原理により生じる偏差の傾向もみられないことから、有意差はないと考える。以上より、300mm シリコンウェーハの形状測定においては測定表面の傾きによる偏差は無視できると考えられる。

5 結言

本実験では300mm シリコンウェーハに対してセンサの照射方向を変更し測定を行うことで測定表面の傾きにより生じる偏差の影響を実験的に検証した。円筒レンズを用いた実験により、測定表面の傾きによる偏差は確認されている。しかし、 0.2° 以下の傾きでは測定表面の傾きによる偏差はゼロに等し

い。実際に測定表面の最大の傾きが約 0.1° の300mm シリコンウェーハの形状測定においては照射方向の違いによる測定値の差にばらつきに有意差はないことが分かった。そのため、300mm シリコンウェーハの形状測定においては測定表面の傾きによる偏差は考慮しなくてもよいと言える。しかし、シリコンウェーハの大口径化により直径が増大した450mm シリコンウェーハの形状測定においては、たわみが増加し、測定表面の傾きが 1° を超えてくると予想される。そのため、円筒レンズを用いた実験結果より測定表面の傾きによる偏差の影響が表れてくると考えられる。

謝辞

本研究はJSPE 科研費 JP21K03796 の助成を受けたものです。

参考文献

- (1) 伊藤ほか, 三点支持裏返し法によるシリコンウェーハの反りと板厚の同時測定, 精密工学会誌, Vol.76, No.11, (2010), pp1305-1309.
- (2) 伊藤, 大口径シリコンウェーハの形状測定におけるセンサ原理に起因する誤差, 2018年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (2018.09), pp610-611.

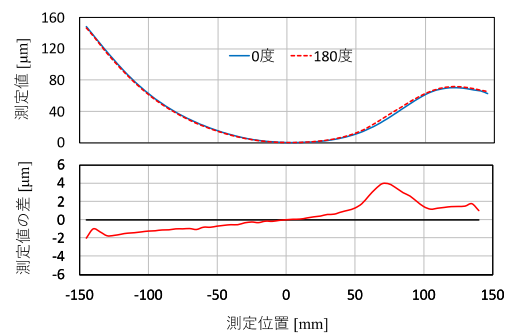


図5 既存の実験結果

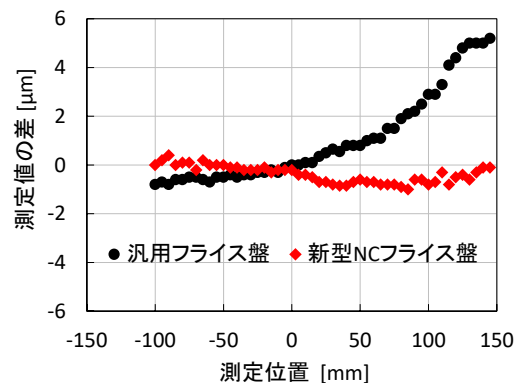


図6 フライス盤のステージの運動精度による測定値の差

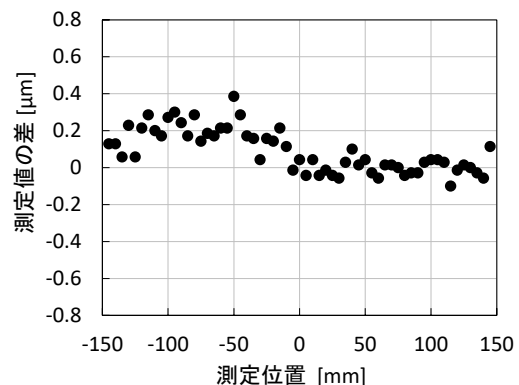


図7 300mm シリコンウェーハにおける傾きによる偏差の影響

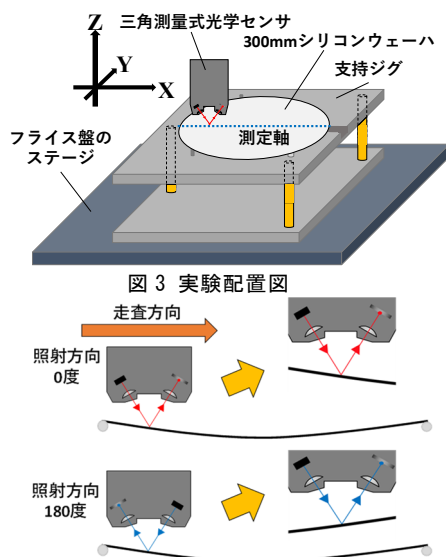


図3 実験配置図

図4 センサの照射方向の概略図