ノート

有限要素法によるウェハの自重たわみ量分布の解析

石井　啓貴*　片山　聡*

Analysis of the quantity of gravity bend distribution of the wafer by the finite element method

ISHII Hirotaka* and KATAYAMA Satoshi*

1. 緒　　言

電子デバイスの高集積化に伴い，半導体加工の微細化が急速に進展している。これに伴い，半導体ウェハは高い精度と平坦度が要求されており，ウェハの厚さや表面形状を評価する測定機においても測定精度が求められている。

半導体ウェハの形状測定機では，円周部を指定の箇所で支持し，非接触でウェハ表面の測定を行うが，国際的な測定規格に基づき重力によるたわみ量を補正する必要がある。

そこで本研究では，ウェハの円周部 3 箇所を支持したときの自重によるたわみ量の平面分布を，有限要素法により求めることとする。

2. 使用ソフトウェア

有限要素法解析における各処理工程において，表 1 に示すソフトウェアを使用して，解析を行った。

3. 計算対象

円板（φ50～200，1/2 対称）に対し，中心より 0.5mm 間隔で格子状に面分割したサーフェスモデルを計算対象とした。なお，支持点（外周より 1mm，120 度間隔）近傍のみ，格子形状を修正した。（図 1）

4. 有限要素モデル

ANSYS の自動分割機能より，格子ごとに 1 つの 4 節点 4 辺形要素を作成した。

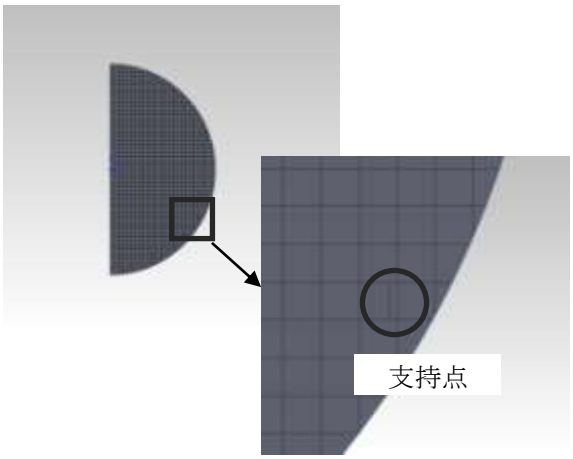

図 1　計算対象（φ50㎜ モデル）

5. 材料モデル

ヤング率 130GPa，ポアソン比 0.177，密度 2,330kg/m^3 の等方性弾性モデルとした。

6. 計算条件

支持部の鉛直方向変位のみ拘束し，モデル全体に重力加速度を付与した（図 2）。解法は静的陰解法とし，大変形アルゴリズムを用いた。

また，形状剛性を強制的に更新させるため，10 ステップに分けて計算した。

表 1　解析ソフトウェア

処理工程	ソフトウェア
CAD モデル作成	Solidworks Premium 2010SP5
プリ・ポスト処理	ANSYS Workbench 13.0 Ls-Prepost2.4
計算ソルバー	LS-DYNA971R5.0 ANSYS Mechanical 13.0

*　中越技術支援センター

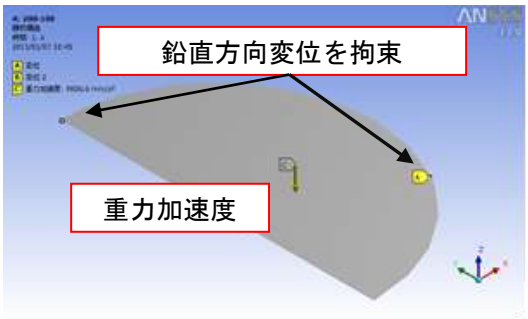

図 2　境界条件

表 2　計算結果（最大たわみ量：mm）

ウェハ径－厚さ	LS-DYNA	ANSYS
φ200mm－t100μm	1.51×10^{-1}	1.53×10^{-1}
φ100mm－t300μm	1.45×10^{-2}	1.45×10^{-2}
φ50mm－t500μm	2.96×10^{-4}	2.96×10^{-4}

7. 計算条件

7.1　LS-DYNA と ANSYS との比較

本研究では変形後の節点座標を出力するため，計算ソルバーにポスト処理が容易な LS-DYNA を用いた。ただし，当所において LS-DYNA を用いて静的構造解析を行った例は少なく，精度検証が十分でないことから，まず静的陰解法ソルバーANSYS との計算精度比較を行った。

計算結果を表 2，図 3，4 に示す。どの計算条件においても差は小さく，変形分布も相似形であることが分かる。このことから，LS-DYNA によるウェハたわみ量計算は十分な計算精度を有しているといえる。

7.2　各モデルのたわみ量

表 3，4 に計算結果を示す。表 5，6 にはφ50mm の最大たわみ量に対する各直径－板厚のたわみ量比率を示す。大きく変形する条件においては初期形状との剛性差が大きくなり，相似形が崩れていることが確認できる。

8. ポスト処理

計算後に出力された節点座標点群のうち，一定間隔で分布する座標点を抽出し，有限要素法解析において形状の対称性により有限要素モデルから省略したウェハ平面における第 2，3 象限部分（X 軸における負の部分）の点群を生成するため，上記の点群のうち各点の X 座標のみ Y 軸を中心に反転させたうえで Y 座標，Z 座標を複写し追記することにより，各解析条件における

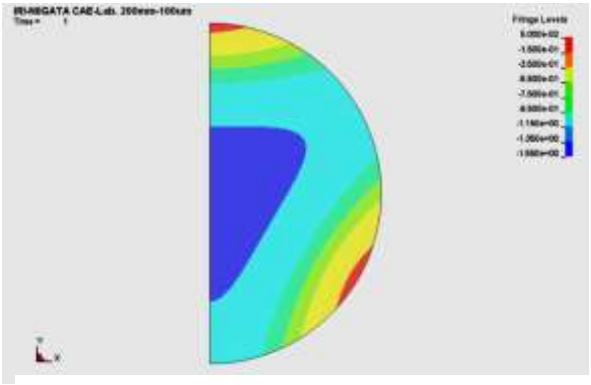

図 3　鉛直方向の変形量分布
（φ200mm－t100μm）（LS-DYNA）

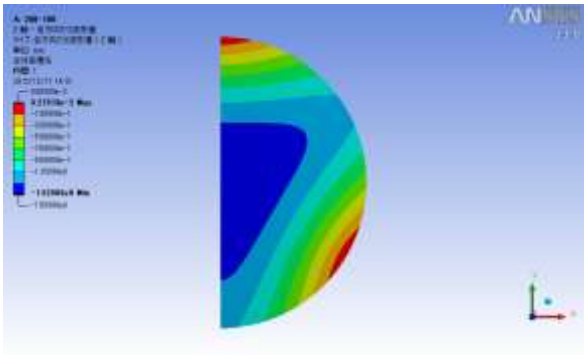

図 4　鉛直方向の変形量分布
（φ200mm－t100μm）（ANSYS）

たわみ量の点群テーブルを作成した。

9. 結　　言

ウェハの円周部 3 箇所を支持したときの自重によるたわみ量の平面分布を，有限要素法により求めた。

表 3　鉛直方向の最大たわみ量（板厚 100～400μm、単位：mm）

直径	板厚（μm）					
(mm)	100	125	150	200	300	400
50	7.36×10^{-3}	4.72×10^{-3}	3.28×10^{-3}	1.85×10^{-3}	8.21×10^{-4}	4.62×10^{-4}
75	3.99×10^{-2}	—	—	—	4.45×10^{-3}	—
100	1.28×10^{-1}	—	5.79×10^{-2}	—	1.45×10^{-2}	—
125	3.08×10^{-1}	2.04×10^{-1}	1.43×10^{-1}	8.12×10^{-2}	3.62×10^{-2}	—
150	6.01×10^{-1}	4.13×10^{-1}	2.95×10^{-1}	1.70×10^{-1}	7.60×10^{-2}	—
200	$1.51\times10^{+0}$	$1.14\times10^{+0}$	8.65×10^{-1}	5.26×10^{-1}	2.43×10^{-1}	1.37×10^{-1}

表 4　鉛直方向の最大たわみ量（板厚 500～1000μm、単位：mm）

直径	板厚（μm）					
(mm)	500	600	700	800	900	1000
50	2.96×10^{-4}	2.06×10^{-4}	1.51×10^{-4}	1.16×10^{-4}	9.18×10^{-5}	7.45×10^{-5}
75	1.60×10^{-3}	—	8.19×10^{-4}	—	4.96×10^{-4}	—
100	5.23×10^{-3}	—	2.67×10^{-3}	—	1.62×10^{-3}	—
125	1.30×10^{-2}	—	6.66×10^{-3}	—	4.03×10^{-3}	—
150	2.74×10^{-2}	—	1.40×10^{-2}	—	8.46×10^{-3}	—
200	8.80×10^{-2}	6.11×10^{-2}	4.49×10^{-2}	3.44×10^{-2}	2.72×10^{-2}	2.20×10^{-2}

表 5　φ50mm に対する最大たわみ量の比率（板厚 100～400μm）

直径	板厚（μm）					
(mm)	100	125	150	200	300	400
75	5.4	—	—	—	5.4	—
100	17.4	—	17.7	—	17.7	—
125	41.9	43.2	43.7	44.0	44.1	—
150	81.7	87.5	90.1	92.0	92.6	—
200	205.2	240.7	264.1	285.2	295.4	297.1

表 6　φ50mm に対する最大たわみ量の比率（板厚 500～1000μm）

直径	板厚（μm）					
(mm)	500	600	700	800	900	1000
75	5.4	—	5.4	—	5.4	—
100	17.7	—	17.7	—	17.6	—
125	44.0	—	44.0	—	43.9	—
150	92.5	—	92.3	—	92.1	—
200	297.1	297.0	296.7	296.3	295.9	295.6