

# シリコンピエゾ抵抗型6軸マイクロカーモメントセンサと流体力学への応用に関する研究

ズンベト ダオ

本論文は、マイクロマシニングによるシリコンピエゾ抵抗型6自由度力-モーメントセンサの超小型化を目的にした研究開発に関するものである。これまでの6自由度力-モーメントセンサは多くの検出素子を必要とし小型化が困難であった。本研究はシリコンの結晶方位の選択および検出素子の配置に新規な方法を見出し、検出素子数を半分以下にし小型化を達成した。

本論文は7章から構成されている。第1章では、多自由度力-モーメントセンサに関する国内外の研究の現状と課題をまとめて、これらの課題に対する本論文での研究概要を述べた。第2章と第3章では、シリコンの結晶異方性を考慮した弾性論とピエゾ抵抗理論の基礎について述べ、センサの設計に必要な基礎理論を整理した。第4章では、センサの基本構造として十字型ビームを採用し、弾性論と有限要素法により応力解析を行なった。また、応力解析結果とシリコンの破壊強度に基づいてセンサの許容荷重と許容モーメントを決定した。次に、ピエゾ抵抗理論に基づいて力とモーメントの検出素子であるピエゾ抵抗素子の十字型ビーム上の配置、結晶方位と感度の関係を検討し、面方位(111)あるいは(100)を選択することにより素子数が20以下と極めて少ない配置方法を明らかにした。第5章では、SOI(Silicon on Insulator)基板のデバイス層への不純物拡散によるピエゾ抵抗素子の製作や誘導結合プラズマを用いた反応性イオンエッチングを利用したSOI基板のバルクマイクロマシニングによる十字型ビーム構造の製作プロセスなど、センサの主要製作プロセスについて述べた。第6章では、ナノインデントを応用したセンサへの微小軸力と微小モーメントの負荷方法について述べるとともに、キャリブレーションを実施して、センサの感度、非直線性やクロストーク等を定量的に明らかにした。第7章では、砂粒を模擬した球状粒子にセンサを実装して乱流中の球状粒子に作用する揚力、抗力とモーメントを独立に計測し、はじめて定量的に明らかにした。また、実験的に得られた揚力、抗力、モーメントと流速の関係を表す指数法則は、従来の経験則や数値解析結果と合致することを明らかにした。