

審査の結果の要旨

氏名 芦葉 裕樹

微細加工技術の発展により製作可能な機械素子寸法はマイクロメートルからさらに微細なナノメートルの領域まで進んでいる。微細加工技術を駆使して作製される微小電気機械デバイスはMEMS/NEMS (Micro/Nano Electro-mechanical Systems) と呼ばれ、センサやアクチュエータへの応用研究が活発である。さらに構成要素をナノメートルスケールまで微小化し、ナノメカニカル構造の特異な機械的特性を機能化することによって革新的な性能を実現するNEMSデバイスの研究が活発化している。本研究は、「ナノメカニカル振動子の高性能化と光検出デバイス応用の研究」と題して、ナノメカニカル振動子の共振特を利用した微小荷重センシングを対象に、新しい荷重センシングデバイス構造の提案、デバイス試作と特性評価、およびその高性能化について論じている。

第1章では、ナノメカニカル振動子の特長とこれを用いた超高感度センシングについて、これまでの研究や技術開発を広くサーベイし、荷重、すなわち力の検出が最も基本となる検出技術であるとの観点から、ナノメカニカル振動子を用いた超高感度荷重検出技術の確立を研究目的に設定している。

第2章では、本研究で検出対象とする微小荷重の検出方法について検討を加え、荷重検出に多用されてきたひずみ検出法でなく、より微小な荷重検知の可能性を持つ変位検出法を取り上げている。本研究では、静的梁と動的梁を組み合わせる検出方式として、検出対象の微小荷重を受けてたわみを生じる静的梁のたわみ量を近傍に対向配置して電氣的に結合させた動的梁の共振周波数変化として検出する方法を提案している。本章では、対向梁デバイスで得られる荷重検出感度に関する理論解析を行い、動的・静的の二種の梁構造とその配置に関する設計指針を得ている。

第3章では、検出対象の微小荷重として光の放射圧を取り上げ、前章の設計指針に基づいて光の放射圧検出デバイスを設計、製作し、その特性評価の実験を行っている。デバイス設計については、作製実現性も勘案して静的梁としては片持ち梁先端に両持ち梁を直角に接続したT字構造とし、その先端部に動的両持ち梁の中央部を対向させて、二つの梁相互に静電吸引力が作用する構造としている。デバイス試作については、振動子にシリコン、光検知部にクロム膜を用い、電子ビームリソグラフィやウェットエッチングなどの微細加工技術を駆使して対向梁構造デバイスを作製している。

作製したデバイスの動作実験は、微小荷重として静的梁にレーザを照射して放射圧を与え、レーザ加振された動的梁の共振特性を光ヘテロダイン振動計測によって測定している。本デバイス特性評価実験によって、静的梁のレーザ照射によるたわみを動的梁の共振状態における共振周波数シフトとして検知することに成功している。しかしながら、検知信号の特性を詳細に評価した結果、検知された微小荷重は光放射圧によるものよりも静的梁のレーザ加熱による熱歪の影響が大きかったと考察している。

第4章では、微小荷重検出デバイスの更なる高性能化のためには機械振動子の高Q値化が必要であることを述べている。ナノメカニカル振動子のQ値の支配要因を体系的に分析し、共振周波数や機械定数の維持を条件に振動子性能を向上させるには、振動子への引張り応力（引張ひずみ）印加による高Q値化が有力な手段であることを論じている。

第5章では、ナノメカニカル振動子のスティクションを利用した高Q値化の手法を提案している。スティクションはナノ構造の作製過程のウェットプロセスにおいて起こるナノ構造相互が液体の表面張力によって吸着する現象である。本研究ではこの現象を巧みに利用して両持ち梁を相互に吸着させて引張りひずみを印加する方法について、理論計算と実際のナノ構造作製、およびQ値評価実験により有効性を実証している。

第6章では、前章で述べたスティクションによるナノメカニカル振動子への引張りひずみ印加法の本論文で提案した微小荷重検出デバイスへの適用可能性を述べている。本微小荷重検出デバイスの動的梁をスティクション法により作製すれば、動的梁（ナノ振動子）の高Q値化により静的梁のたわみ検出性能の向上が可能であるとしている。

第7章では、本研究で得られた結果を総括し、本論文の結論および今後の展望について述べている。

以上、本論文は、ナノメカニカル振動子を用いる放射圧を例にした微小荷重の検知において、静的梁・動的梁組み合わせ方式が有効であるものの熱の扱いが課題であること、動的梁へのひずみ印加によるQ値の改善による検出感度向上の可能性があることを示し、超高感度荷重検出の実現に向けた問題点抽出と性能改善の方向を示している。換言すると、ナノメカニカル振動子による微小物理量センシングにおいて、デバイス構造の設計とひずみ印加による高Q値化が高感度化に有効であることを提言しており、本分野の新展開を切り拓く研究として評価される。

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。