

自己評価報告書

平成23年 4月 4日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究 (S)

研究期間：2008～2012

課題番号：20676001

研究課題名 (和文) 確率共鳴で動作するナノ機械によるセンシング

研究課題名 (英文) Nanomechanical Sensing based on stochastic resonance

研究代表者

小野 崇人 (ONO TAKAHITO)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：90282095

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎 ・ 応用物理学一般

キーワード：マイクロマシン

1. 研究計画の概要

マイクロ・ナノマシニング技術の発達により、機械や電気要素を小型化、集積化し、さまざまなセンサが実現されてきた。小さな機械要素は共振型センサとして、高感度に力や質量、電荷、輻射などを測定するセンサとして利用される。一方、研究代表者は、機械要素をナノメートルにまで小型化していくと、機械的な非線形性が顕著になることを見出し、これを利用すると振動状態を2値化し、ノイズに強いロバストセンサとして使えるとの着想に至り、研究を開始した。もともと、このような原理は自然界の生物が持っているものであり、本研究ではこれを人工的に実現するものである。

ナノスケールまで小型化した機械要素の非線形性を評価し、その形状やサイズと非線形性パラメータの関係を調べる。自己検知型のセンサを開発するとともに、振動の2値化状態（バイナリー化）を実現し、外部からのノイズの印加による自発的な状態間の遷移を実現する。複数の振動子を機械的に結合させ、同期させる。同期を利用したセンシングを試みる。多数のセンサを結合した大規模なセンサによる高度なセンシングを実現する。複数の振動子を電気機械的に結合し、その振動子間で情報伝達を行うことで、高性能、あるいは高度な機能をもつ、センサを実現する。詳細の研究項目について以下に述べる。

(1) マイクロ・ナノメカニックスの非線形性

①非線形性とサイズ効果、形状の測定

(2) 自己検知型ナノセンサの開発

①ピエゾ抵抗型ナノセンサの開発

②圧電薄膜の堆積技術の開発

③水晶の加工技術の開発

④カーボンナノチューブ埋め込み型ピエゾ抵抗センサの開発

(3) マイクロ・ナノメカニックスにおける確率共鳴の評価

①確率共鳴状態の実現

②非線形性と確率共鳴の関連の計測

③輻射や外力に対する応答の計測

(4) 機械的結合したマイクロ・ナノメカニックス

①機械結合による同期現象とセンシング

②機械結合と同期現象の解明

③多数のセンサの機械結合の実現

(5) 多数のセンサによる確率共鳴を利用した高度センシング

①自己検知型センサのパラレルアレイの作製

②多数のセンサの確率共鳴状態の実現

③高度センシング

2. 研究の進捗状況

マイクロ・ナノメカニックスの機械的な非線形性の評価により、振動子を小型化すると大きな非線形を示すことを見出し、その詳細について調べた。その結果、シリコン振動子の厚さが 200nm 以下になると、非線形性が顕著になることがわかった。また、非線形性は形状にも依存することを見出した。

振動子を機械的、あるいは電氣的に結合させたインテリジェントなセンサシステムを開発するためには、個々の振動子に自己検知機能を持たせる必要がある。このため、自己検知型ナノセンサの開発を行った。ピエゾ抵抗型と圧電検出型の2種類の方式のセンサを開発した。また、圧電薄膜をゾルゲル法により自動でコーティングする技術を開発し、圧電型振動子アレイを作製した。これ以外に、

水晶を反応性イオンエッチングでエッチングする技術と水晶をシリコンに接合する技術を開発して、水晶の結合振動子を試作した。この結合振動子により、圧電効果を利用して高感度に微小な力が検出できることを示した。

作製した非線形振動子をその共振周波数近傍のバイナリー状態をもつ周波数領域が生じているのを確認した。この周波数帯で振動させ、さらに振動ノイズを重畳すると、振動振幅が2つの状態をランダムに遷移する確率共鳴状態を作り出すことに成功した。さらに、室温の熱ノイズを利用して、感度を増幅できることを示した。作製した振動子を用いて確率共鳴により輻射や外力が測れることを示し、ノイズの印加により、SN比が増加することを示した。これは、ノイズ環境下でも高感度なセンサとして働くことを示した重要な成果である。

さらに、センサの大規模化をはかり高度なセンシングを行うための圧電センサアレイの作製を行い、確率共鳴状態を実現した。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

本提案の確率共鳴センサの基礎となる、マイクロ・ナノメカニクス系の非線形の評価について研究が終了した。提案を実現するためには、自己検知型のセンサが必要であり、その研究についてもほぼ終了した。非線形センサにおいて確率共鳴状態を実現し、詳細については計測中である。多数のセンサからなるセンシングを実現するための、結合した2つのセンサを実現し、高感度なセンシングができることを示した。現在、さらに複数のセンサを機械的に結合させる大規模化に取り組んでいる。さらに、複数のセンサを並べた確率共鳴センサを作製した。

4. 今後の研究の推進方策

これまでの知見を生かし、さらに複数のセンサを配列させ、ノイズ下でも高感度で、かつインテリジェントな計測ができる高度なセンサ機能を実現する。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計24件:すべて査読有)

1. Jinyang Feng, Xiongying Ye, Masayoshi Esashi, and Takahito Ono, Mechanically coupled synchronized resonators for resonant sensing applications, Journal of Micromechanics and Microengineering, 20, (2010) 115001-1~115001-5. (査読有)

2. Akihiro Takahashi, Masayoshi Esashi and Takahito Ono, Quartz-crystal scanning probe microcantilevers with a silicon tip based on direct bonding of silicon and quartz, Nanotechnology, 21, (2010), 405502-1-405502-5. (査読有)
3. Y. Jiang, T. Ono, and M. Esashi, Temperature-dependent mechanical and electrical properties of boron-doped, piezoresistive nanocantilevers, Journal of Micromechanics and Microengineering, 19, (2009) 065030. (査読有)
4. T. Ono, Y. Yoshida, Y.-G. Jiang, and M. Esashi, Noise-enhanced Sensing of Light and Magnetic Force Based on a Nonlinear Silicon Microresonator, Applied Physics Express, 1, (2008), 123001-1-123001-3. (査読有)
5. Y. G. Jiang, T. Ono, and M. Esashi, Fabrication of piezoresistive nanocantilevers for ultra-sensitive force detection, Measurement Science and Technology, 19, (2008), 084011-1~084011-5. (査読有)

[学会発表] (計76件)

1. Yusuke Yoshida, Susuke Kawai, and Takahito Ono, Parallel array of noise-activated nonlinear micro-resonators with integrated actuators, MEMS 2011, Cancun, MEXICO, January 23 - 27, (2011) pp. 613-616. 2011年1月25日

[図書] (計7件)

1. 小野崇人、シリコンマイクロ振動子を用いた高感度熱機械変換素子, 豊田研究報告, No. 61 (2008年5月)143-148.

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

名称: 赤外線検出センサ

発明者: 松岡元、小野崇人、江刺正喜

権利者: 東北大学、住友精密工業

種類: 特開

番号: 2010-54416

出願年月日: 2008年8月29日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ

<http://www.nme.mech.tohoku.ac.jp/>