

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：平成 19 年度 ~ 平成 22 年度

課題番号：19206016

研究課題名（和文） ナノ構造の創製とその機能化に関する研究

研究課題名（英文） Nanostructure creation and its functionalization

研究代表者

石原 直（ISHIHSRA SUNAO）

東京大学大学院・工学系研究科・教授

研究者番号：00422329

研究代表者の専門分野： 機械工学

科研費の分科・細目：生産工学・加工学・ナノ・マイクロ加工，NEMS

キーワード：ナノメカニクス，マイクロ・ナノデバイス，三次元ナノ構造，ナノ振動子，センシングデバイス，ナノ加工・計測，機械共振特性，電子ビーム・イオンビーム

1. 研究計画の概要

三次元ナノメカニカル構造としてナノ振動子を取り上げ，振動子構造の設計法，三次元ナノ構造作製技術の開発，機械振動測定法の開発と共振特性の解明，およびそのセンシングデバイスへの応用など，ナノ振動子の創製とその機能化のための基盤技術の構築を進めた．

2. 研究の進捗状況

(1) ナノ振動子として，片持ち梁（カンチレバー），両持ち梁（ビーム），薄膜（メンブレン）構造を取り上げ，高い共振周波数・Q値特性を付与するための振動子構造設計の検討を進めた．

(2) 三次元ナノ構造の作製のため，集束イオンビーム堆積技術と半導体微細加工技術の高度化を進めている．加えて，ビームのレジストへの侵入深さ大きな差異を利用した電子ビーム・イオンビーム複合リソグラフィ技術を開発し，引張応力を内在したSiO₂ナノビーム振動子の作製技術を検討している．

(3) 集束イオンビーム技術で作製したDL

C（Diamond Like carbon）ナノ構造について，振動子設計のための内部構造の解析（実験とシミュレーション）と機械特性値解明，ナノ構造作製精度の向上技術，自己検知型振動子のためのDLCへのピエゾ抵抗効果の付与（アニール処理）などの研究を進めた．

(4) 光測定の適用が難しいナノ構造の振動測定について，電子ビーム照射と二次電子信号の周波数解析を用いた共振特性測定法を開発し，サブナノメートル振幅，数MHz周波数の検出を可能とした．

(5) AFMプローブを用いて，測定対象振動子を加振しつつ振動振幅測定が可能な共振特性測定法を考案し，ナノメートル振幅，MHz周波数，加えて共振モードプロファイルの測定を可能とした．

(6) 振動子の共振性能の制御法として，振動子に内部引張応力（歪）を内在させることにより，その共振周波数を向上させ，かつQ値を飛躍的に改善できる事を見出した．

(7) 原子サイズの究極ナノ振動子をねらって，極めて特徴的な物性を有するグラフェン

の振動子適用を試み、剥離法により作製した単層グラフェンのメンブレン振動子を作製し、前出のAFM共振特性測定法を適用してその共振特性を測定した。

(8) ナノ振動子の表面自由エネルギーや表面近傍の結晶状態がナノ振動子の共振特性に及ぼす影響を調べ、表面の親水性、結晶性劣化(アモルファス化)は共振性能を劣化(Q値を低下)させる事を見出した。

(9) ナノメ構造のデバイス応用として、ナノ振動子による高感度電荷検出に挑戦し、連結微小共振器の共振状態における対称・反対称共振モードのアンバランス利用により、常温大気中においても超高感度で電荷検出(147個/Hz)を実現した。

3. 現在までの達成度

ナノ振動子の構造設計指針、集束イオンビームと電子ビームによる三次元ナノ構造の作製技術、歪エンジニアリングによる共振性能の制御法、微小振幅高周波共振特性測定法などナノ構造の創製と機能化のための基盤技術構築の見通しを得た。

4. 今後の研究の推進方策

ビーム応用による三次元ナノ振動子作製技術の更なる高度化、ナノ構造の機械的共振特性測定法の複合化と装置化を進め、これらの基盤技術をフルに活用して、ナノ構造のデバイス応用に研究の重点をシフトし、ナノ構造センサデバイス設計、試作、評価など応用研究を推進する。

5. 代表的な研究成果

〔雑誌論文〕(計15件)

R. Kometani, S. Warisawa and S. Ishihara, Evaluations of the hopping growth characteristics on 3-D nanostructure fabrication using focused-ion-beam, J. Vac. Sci. Technol., B 27, 2698-2701 (2009), 査読有

H. Ashiba, S. Warisawa and S. Ishihara, Evaluating Method for Quality Factor of Nano-resonator by Electron Beam, Jpn. J. Appl. Phys., 48 (2009) 06FG08-1-5, 査読有

K. Tamaru, K. Nonaka, M. Nagase, H. Yamaguchi, S. Warisawa, and S. Ishihara, Direct Actuation of GaAs Membrane with the Microprobe of Scanning Probe Microscopy, Jpn. J. Appl. Phys. 48 (2009) 06FG06-1-5, 査読有

〔学会発表〕(計49件)

N. Kitajima, H. Okamoto, T. Kamada, K. Onomitsu, S. Warisawa, S. Ishihara, and H. Yamaguchi, High-sensitive charge detection using anti-symmetric vibration in coupled micromechanical resonators, 22nd Intern'l Microprocesses & Nanotechnology Conf. (MNC2009), Sapporo, Japan, Nov. 18 (2009)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計2件)

名称: 薄膜振動子およびその製造方法
発明者: 永瀬雅夫, 山口浩司, 石原直, 割澤伸一, 田丸耕二郎
権利者: 東京大学, 日本電信電話(株)
種類: 特許
番号: 特願 2009-078589
出願年月日: 2009/3/27
国内外の別: 国内

名称: 微小機械共振器ならびに微小機械検出素子
発明者: 石原直, 割澤伸一, 加藤慶一, 山口浩司, 小野満恒二
権利者: 東京大学, 日本電信電話(株)
種類: 特許
番号: 特願 2008-70933
出願年月日: 2008/3/19
国内外の別: 国内

取得状況(計0件)

〔その他〕
URL: <http://www.nanome.t.u-tokyo.ac.jp>