

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：82108

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760285

研究課題名(和文)単結晶ダイヤモンドを用いた革新的マイクロ/ナノマシンスイッチの創製

研究課題名(英文)The creation of single crystal diamond MEMS/NEMS switch

研究代表者

廖梅勇(LIAO, MEIYONG)

独立行政法人物質・材料研究機構・光・電子材料ユニット・主任研究員

研究者番号：70528950

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：ダイヤモンドは、弾性定数、硬度、熱伝導率、絶縁性など物質中で最高値を有する材料であり、既存の材料をはるかに凌ぐ省エネルギー、大電力、高性能化、高信頼性及び耐環境のMEMS/NEMS実現が期待できる。本研究は、単結晶ダイヤモンドMEMS/NEMSに関する微細加工技術を開発し、新しいナノマシンスイッチを作製した。ダイヤモンドナノマシンスイッチは、マイクロ/ナノマシンで問題となる表面固着はほとんど観測されず、高い再現性および高い信頼性を実現した。

研究成果の概要(英文)：The current micro/nanoelectromechanical system (MEMS/NEMS) switches based on silicon technologies are suffering from problems of stiction, abrasion, and poor mechanical/tribological properties, not able to work under extreme conditions such as high temperature, environments with corrosive chemicals, and high-speed/high-power radio-frequency switches, etc. Diamond is the ideal material for high-performance MEMS devices due to its outstanding properties such as extremely high Young's modulus, the highest hardness, hydrophobic surface, low mass density, the highest thermal conductivity, high corrosion resistance upon caustic chemicals, and biocompatibility. In this project, we demonstrated high-performance all-single crystal diamond NEMS switches with well-controlled dimensions. The developed NEMS switches exhibit no stiction, high controllability, high reproducibility, high-temperature stability above 500 K, and repeated switching.

研究分野：電子電気科学

科研費の分科・細目：マイクロ・ナノデバイス

キーワード：MEMS・NEMS

1. 研究開始当初の背景

これまでに研究開発がなされているMEMSは主にシリコンや金属材料を用いて作製されているため、機械的、電氣的、化学的および熱的な安定性が悪く、さらなる高性能化および高信頼性が困難という欠点がある。ダイヤモンドは、弾性定数、硬度、熱伝導率、絶縁性など物質中で最高値を有する材料である。同時に超疎水性の表面および低い誘電損失、高濃度ドーピングにより金属導電性が得られることなどから、既存の材料をはるかに凌ぐ省エネルギー、大電力、高性能化、高信頼性及び耐環境のMEMS/NEMS実現が期待できる。MEMS/NEMSスイッチは従来の半導体スイッチデバイスと比べてゼロリーク電流とすることができ、消費電力の損失が低く、Beyond CMOSを実現する技術である。特に、高周波に対してもオフ時に高いアイソレーションを確保できるものとして、無線通信領域で注目されている。ダイヤモンドMEMS/NEMSスイッチは、シリコン等半導体材料に基づきMEMSスイッチの接触面のスティクション、摩擦、摩耗、高駆動電圧、低耐電力性の問題が克服できる。

2. 研究の目的

本研究では、全単結晶ダイヤモンド(Diamond-On-Diamond: DOD)概念を提案し、単結晶ダイヤモンドナノ構造体を制御しNEMSスイッチの作製して、NEMS技術の開発し、従来のスイッチの問題点を克服する。

3. 研究の方法

本実験では、単結晶ダイヤモンド基板に高エネルギーイオン(カーボン、180keV)を注入する(ドーズ量 10^{16}cm^{-2})ことによって、局所的にダイヤモンドをグラファイトに相変態させた犠牲層(グラファイト犠牲層と呼ぶ)を形成した後、マイクロ波プラズマ気相成長法によってボロンをドーピング(濃度 >

10^{18}cm^{-3})した導電性を持つダイヤモンド薄膜を成長させ、その後グラファイト犠牲層を溶液エッチング除去することによって、MEMS/NEMS可動構造体(一端が固定され他端が自由なカンチレバー、または両端を固定したブリッジ)を作製するプロセスを開発した。更にこの技術を発展させ、3端子トランジスタ構造からなる横方向ゲート電界によるスイッチ操作方式のナノマシンスイッチデバイスを作製した。

4. 研究成果

図1に、全単結晶ダイヤモンドの可動構造体[(a)、(c)カンチレバーおよび(b)、(d)ブリッジ]の走査型電子顕微鏡写真を示す。図1(e)には、エアギャップ(200nmの空隙)構造が形成されていることが確認できる。

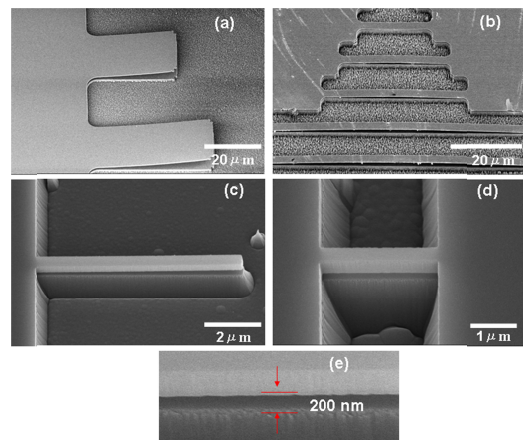


図1. 単結晶ダイヤモンドの可動構造体である、カンチレバー及びブリッジの走査型電子顕微鏡写真

図2(a)、(b)に3端子ナノマシンスイッチの走査型電子顕微鏡と光学顕微鏡写真を示す。オン状態でカンチレバーがそり上がり、ドレインと接触して導通が確保された様子が明確に分かる。図3(c)、(d)にスイッチング特性を示す。開発した3端子ナノマシンスイッチのプルイン電圧(V_p)は70V、プルアウト電圧は60Vであり、走査回数に対し

ても安定に動作していることがわかる。またリーク電流は 1pA 以下であり、優れた絶縁性を持ち、消費電力は 10pW 以下であった。図 3 (d) に見られるようにオフ時の急峻な電流変化から、スティックション現象は見られない(または極めて小さい)事が実証された。この動作特性は 10^5 回を超えるスイッチング操作に対しても安定であった。

結晶ダイヤモンドイノベーション MEMS/NEMS に関する微細加工技術を開発し、新しいナノマシンスイッチを作製した。ダイヤモンドナノマシンスイッチは、マイクロ/ナノマシンで問題となる表面固着はほとんど観測されず、高い再現性および高い信頼性を実現した。これは、ダイヤモンドの材料の特徴を反映しているものと考えられる。ダイヤモンドカンチレバー可動構造体のヤング率の測定値は 1100GPa であり、将来的には、ギガヘルツレベルの高速スイッチ操作を実現することが期待できる。また従来のマイクロ/ナノマシンスイッチに比べ、信頼性、寿命、速度、出力などの機能を大幅に向上させることが可能である。高温論理回路、待機ゼロ電源制御装置、次世代高周波無線通信分野、メモリ及び耐環境デバイスなどの分野で応用できる。

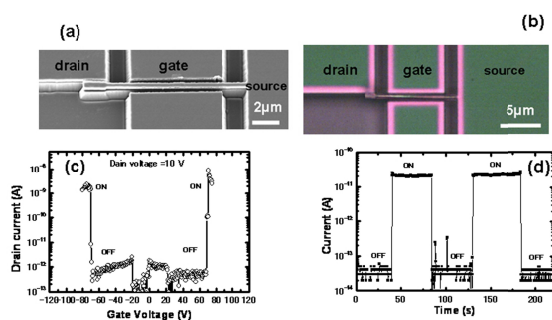


図 2 . 全単結晶ダイヤモンド 3 端子ナノマシンスイッチの走査型電子顕微鏡、光学顕微鏡写真。(a) オフ状態、(b) オン状態、(c) スwitchのソース電流とゲート電圧特性、(d) ゲートに電圧の印加の有無の開閉特性。

5 . 主な発表論文等

(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 3 件)

A. Sumant, O. Auciello, M. Y. Liao, O.A. Williams, “CVD Diamond micro mechanical materials, properties, and devices.” *MRS Bulletin*, 査読有、2014 (in press)

M. Y. Liao, Z. W. Rong, M. Imura, Y. Koide, “Diamond NEMS switch : experimental and modeling”, *Diamond and Related Materials* 査読有、24、2012、pp.69-73.

廖梅勇, 菱田俊一, 小泉聡, 小出康夫 : “単結晶ダイヤモンド NEMS スイッチ” *NEW DIAMOND*, 査読有、104、2012、pp. 28-29

[学会発表](計 7 件)

Meiyong Liao, Yasuo Koide, “Diamond MEMS”, The 9th IUPAC International Symposium on Novel Materials and Their Synthesis, 2013年10月17-22日, Shanghai, China (招待講演).

MeiyongLiao, 戸田 雅也, Liwen Sang, 井村将隆, 菱田俊一, 田中秀治, 小出康夫 : “単結晶ダイヤモンドナノマシン共振特性のサイズ依存性” 2013年09/16-19 : 第74回応用物理学会秋季学術講演会, 同志社大学, 京都

小出康夫, Meiyong Liao, 井村将隆 : “AIN/ダイヤモンドヘテロ接合 FET と MEMS スイッチ”、2013/07/26: 応用物理学会応用電子物性分科会研究例会, 金沢工大虎ノ門キャンパス

Meiyong Liao, M Toda, L. Sang, M. Imura, S. Hishita, N. Ikeda, STanaka, Y. Koide : “Scaling single crystal diamond MEMS/NEMS resonators” 2013/05/19-23 : New Diamond and Nanocarbon (NDNC2013) conference, Novotel Singapore

Meiyong Liao, Liwen Sang, 菱田俊一, 池田直樹, 井村将隆, 小泉聡, 小出康夫 : “ダイヤモンド・ナノマシンスイッチの創製”, 2012/11/19-21 :第 25 回ダイヤモンドシンポジウム, 産業技術総合研究所 つくば共用講堂

Meiyong Liao, Single crystal diamond MEMS/NEMS devices, International Conference on Diamond and Carbon Materials, 2012 年 9 月 3-6 日 Granada, Spain (招待講演).

Meiyong Liao, “Diamond MEMS and NEMS”, NanoThailand 2012 Conference, 2012 年 4 月 9 - 11 日, Khon Kaen, Thailand, (招待講演).

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

取得状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

取得年月日 :

国内外の別 :

〔その他〕

ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究代表者

廖 梅勇 (LIAO, MEIYONG)
独立行政法人物質・材料研究機構・光・電子材料ユニット・主任研究員
研究者番号 : 70528950

(2)研究分担者

()

研究者番号 :

(3)連携研究者

()

研究者番号 :