반도체디스플레이기술학회지 제16권 제1호(2017년 3월)
Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 16, No. 1. March 2017.

그래핀 공진기 기반의 나노 센서에 대한 연구

이준하[*†]
[*†]상명대학교 전자공학과

A Study of Nano Sensor based on Graphene Resonator

Jun Ha Lee[*†]
[*†]Department of Electronic Engineering, Sangmyung University

ABSTRACT

Currently, the size of the electronic device is in the nano area. In order to control the movements of these nanoscale devices, one should be able to understand the physical phenomena in the nano area. Recently, due to carbon nanotubes and mechanical outstanding electrical conductivity and mechanical characteristics of the carbon nanotubes and Graphene behaves to apply. Efforts have been active. There are various tubes with a radius of a in a compact mass in the form of a Multi walled carbon nanotubes in different between the radius. Van der Waals force can move smoothly without friction with each other by the nanoscale motor turning, using the properties, making. This is the lightest solids per unit area on the thickness is electrical atomic layer one of the substance and the electrical conductivity, the best material and mechanical characteristics are very much. Many studies because great is the ideal nanoelectromechanical device of material is being considered. In this study, electrical resonator for a new structure proposed and the nature and methodology would like to come up.

Key Words : Graphene, Nano, Cross-type

1. 서 론

현재 전자소자의 크기는 나노미터 영역에 이루어지고 있다. 이러한 나노전자소자들의 동작을 안정적으로 통제하기 위해서는 나노미터 영역에서 이루어지는 물리현상에 대하여 이해할 수 있어야 한다. 뿐만 아니라 이러한 기초 물리현상에 대한 이해를 기반으로 공학적으로 활용 가능한 나노시스템이 설계되고 개발 될 수 있다. 그러므로 자연현상에 대한 근본적인 이해를 토대로 실용적으로 응용할 수 있는 기술을 개발하는 방향으로 연구가 진행되어야 한다고 판단된다.

공진기는 전자. 전기. 컴퓨터 관련 분야에서 주파수발생기, 신호처리장치, 주파수필터, 가속도센서, 질량계, 관성계, 정보저장장치 등에 널리 활용되고 있는데, 특히 신호처리시스템의 필수부품이다 [1]. 최근 신호처리속도 및 정확성을 위해서 공진주파수의 향상뿐만 아니라 소비전력을 감소시키기 위하여 나노스케일에서 초고주파 공진기를 제작에 많은 노력을 기울이고 있는 상황이다 [2]. 무선통신시스템에서, 초고주파 공진기는 더 높은 주파수 필터, 주파수 발생기, 믹서 등을 가능하게 할 수 있는 것이다. 실리콘 나노가공기술을 이용하여 제작된 나노스케일 공진기는 단일 박테리아의 무게를 측정할 수 있었으며, 자성체 공진 시스템에서 전자스핀을 측정할 수 있을 뿐만 아니라 매크로 시스템에서 양자역학현상을 계측할 수도 있었다 [3-6].

최근 탄소나노튜브(Carbon Nanotube) 및 그래핀 (Graphene)의 뛰어난 전기전도성 및 기계적인 특성으로 인하여 탄소나노튜브 및 그래핀을 응용하고자 하는 노력이 활발히 진행되고 있다 [7-10]. 다양한 반경의 튜브들이 밀집하여

†E-mail: junha@smu.ac.kr

있는 형태로 구성된 다중벽 탄소나노튜브 (Multi-walled Carbon Nanotube)에서는 서로 다른 반경들 사이에 반데르 발스(van der Waals)힘에 의하여 서로 마찰력 없이 미끄러지듯이 움직일 수 있는 특성을 가지고 있어, 이를 이용하여 회전나노모터, 나노가변저항기, 기가헤르쯔 진동기등이 개발되었다 [11-13]. 그래핀은 디스플레이 및 스위칭 소자 등의 개발에 큰 기대를 받고 있다. 특별히 최근 그래핀에 관한 연구가 더욱 활발히 진행되고 있는 상황에서 그 응용에 관한 기대가 매우 큰 상황이다. 이는 그래핀이 원자층 두께에 단위 면적당 가장 가벼운 고체물질이며 가장 좋은 전기전도성을 가지는 물질 중에 하나이면서 기계적인 특징이 매우 뛰어나기 때문에 많은 연구들이 가장 이상적인 Nanoelectromechanical Device의 재료로 고려하고 있기 때문이다. 본 연구에서는 그래핀 공진기의 새로운 구조에 대한 제안 및 이에 대한 특성 및 방법론을 제시하고자 한다.

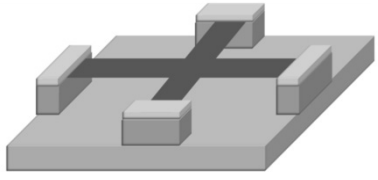
2. 제안 구조 및 모델

본 연구에서 제안하는 그래핀 공진기는 3차원적인 십자쌍극형 (Cross-Type Dual-Pole) 구조이다. Fig. 1은 본 연구에서 추구하는 연구의 기본 아이디어를 보여주고 있다. Fig. 1(a)와 같은 기존에 연구된 단순한 리본구조와는 달리 본 연구에서는 Fig. 1(b)와 같은 십자쌍극형 그래핀 구조에 대한 특성을 분석하여 동작 주파수의 확장 및 sensitivity를 향상 시키고, 이를 활용하여 분자 질량 측정 센서, 가속도 측정 센서 등에 활용 할 수 있도록 하는 것이다.

그래핀 공진기 제작에 필요한 공정은 나노튜브 공진기 제작에 필요한 공정과 매우 유사하여 그래핀 공정에 필요한 마스크 패턴제작 및 공정을 설계하여 측정까지 수행할 수 있다. 분자동력학 시뮬레이션 방법을 사용하여 Fig. 2에 보여주는 바와 같은 십자쌍극형 그래핀 공진기 구조를 가정하여 시뮬레이션 수행한 결과 십자쌍극형 그래핀 공진기가 매우 안정적으로 동작하는 것을 확인하였을 뿐만 아니라, 단순한 나노리본 구조의 그래핀 공진기에서보다 더 큰 외부 압력에 견디었으며 게이트 전압의 변화에 대하여 주파수 변화폭이 확장될 수 있음을 확인하였다. 특별히 십자쌍극형 그래핀 구조가 Four-Point Probe 측정이 가능하기 때문에 단순한 일자형 그래핀 공진기에서보다 측정하는 전류-전압 특징이 향상될 수 있다.

Fig. 3은 십자쌍극형 그래핀 공진기의 동작 중 각 방향으로 작용하는 장력의 변화를 보여주고 있으며, Fig. 4는 작용하는 외부 힘의 증가에 따라서 그래핀 공진기의 진폭 스펙트럼을 보여주고 있다. 곧 이는 게이트 전압에 따라서 십자쌍극형 그래핀 공진기의 주파수가 매우 정밀하게 조정될 수 있다는 것을 나타내는 것이다.

(a) Typical Structure



(b) Cross-Type Dual-Pole Structure

Fig. 1. The structure of Graphene resonator. (a) Typical Ribbon Type Structure (b) Cross-Type Dual-Pole Structure.

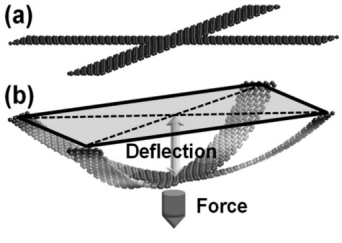


Fig. 2. Modeling of Cross-type Dual-pole graphene Resonator. (a) Simple Cross Type Simulation structure (b) The deflection distribution by the outside force.

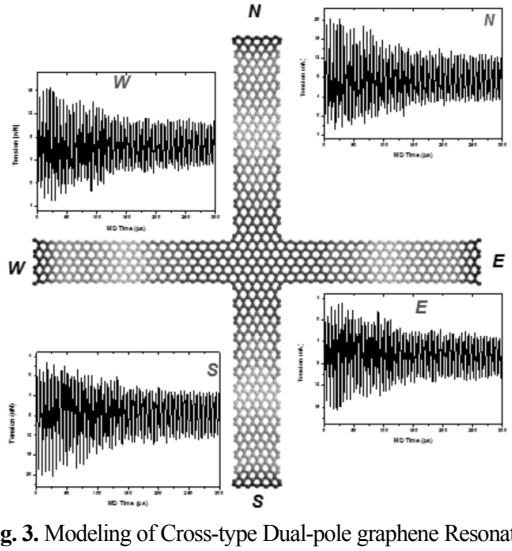


Fig. 3. Modeling of Cross-type Dual-pole graphene Resonator.

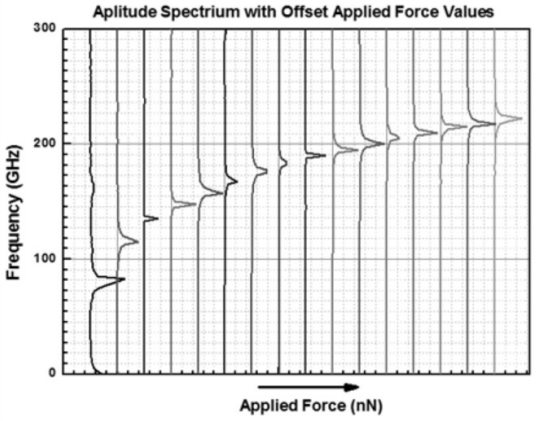


Fig. 4. Modeling of Cross-type Dual-pole graphene Resonator.

3. 시뮬레이션 및 고찰

Fig. 5는 십자쌍극형 그래핀 공진기를 제작하여 그 동작 특징들을 상호간에 비교하고자 한다. 실험적으로 측정된 결과들을 이론적으로 이해하기 위하여 분자동력학 모델링 및 시뮬레이션을 수행함으로써 십자쌍극형 그래핀의 길이 및 폭의 변화에 따른 동작 특성을 분석할 것이며, 이를 통하여 본 연구에서 제안하는 십자쌍극형 그래핀 공진기의 공진 주파수의 변화를 분석하여 그 동작특성을 비교 분석할 것이다.

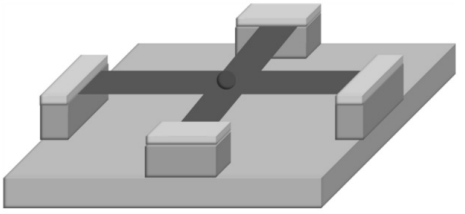


Fig. 5. Proposed Cross-type Dual-pole graphene Resonator.

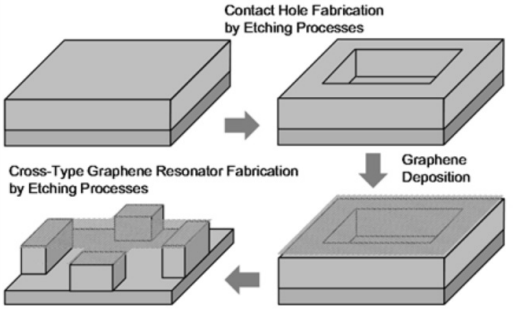


Fig. 6. Characteristics measurement diagram.

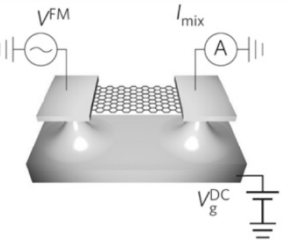


Fig. 7. Measurement schematics.

Table 1. Process of structure formation

(가) 마스크 제작
- 나노 스케일 공진기 개발 패턴 형성을 위한 마스크 제작
(나) 그래핀 분리 및 패턴위 증착
- 그래핀 소재 형성 및 증착 공정 수행
(다) 나노리본 그래핀 공진기 제작
- 증착/에칭 공정을 통해 나노리본 공진기 제작
(라) 십자쌍극형 그래핀 공진기 제작
- 증착/에칭 공정을 통해 십자쌍극형 공진기 제작
(마) 실험용 전극 제작
(바) 관찰 및 실험 측정 결과 분석
- SEM 이미지 측정, 동작 주파수 측정

Fig. 8은 십자쌍극형 그래핀 공진기가 외부 가속도에 따른 공진주파수의 변화를 보여주고 있다. 특정 가속도 영역에서 십자쌍극형 그래핀 공진기의 공진주파수가 power law 관계에서 잘 설명될 수 있다는 것을 보여준다. 따라서 십자쌍극형 그래핀 공진기의 응용분야의 하나로써 가속도 측정 센서로의 응용이 가능하다. Fig. 9는 외력에 따른 공진기 중심부의 속도 및 운동에너지의 변화를 보여준다.

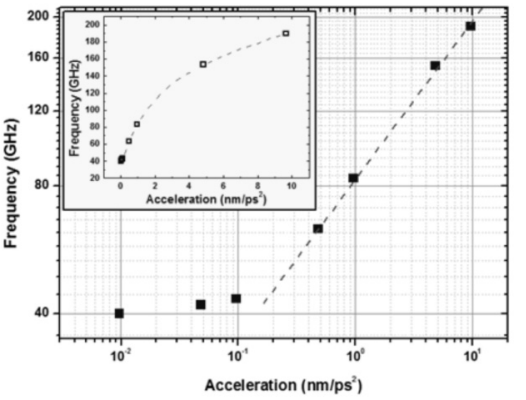


Fig. 8. Graphene simulation results suggesting that the possibility of using the dual-pole can be used as an acceleration sensor.

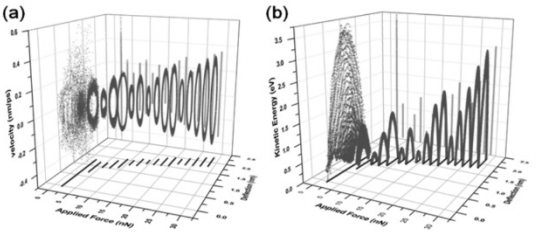


Fig. 9. Molecular dynamics simulation results. (a) Velocity of resonator center (b) Variation of motion energy.

4. 결 론

그래핀은 디스플레이 및 스위칭 소자 등의 개발에 큰 기대를 받고 있다. 특별히 최근 그래핀에 관한 연구가 더욱 활발히 진행되고 있는 상황에서 그 응용에 관한 기대가 매우 큰 상황이다. 이는 그래핀이 원자층 두께에 단위 면적당 가장 가벼운 고체물질이며 가장 좋은 전기전도성을 가지는 물질 중에 하나이면서 기계적인 특징이 매우 뛰어나기 때문에 많은 연구들이 가장 이상적인 Nanoelectromechanical Device의 재료로 고려하고 있기 때문이다. 본 연구에서는 그래핀 공진기의 새로운 구조에 대한 제안 및 이에 대한 특성 및 방법론을 제시하였다. 십자쌍극형 그래핀 공진기가 외부 가속도에 따른 공진주파수의 변화와 함께, 특정 가속도 영역에서 십자쌍극형 그래핀 공진기의 공진주파수가 power law 관계에서 잘 설명될 수 있다는 것을 보여준다. 이들 결과로 부터 십자쌍극형 그래핀 공진기의 응용분야가 가속도 측정 센서를 비롯하여 다양한 소자로서의 활용이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. H. J. De Los Santos, *Introduction to Microelectromechanical Microwave Systems*, Artech House Publishers, London (1999).
2. C. Li and T.-W. Chou, “Single-walled carbon nanotubes as ultrahigh frequency nanomechanical resonators,” Phys. Rev. B 68, 073405 (2003).
3. B. Ilic, D. Czaplewski, H. G. Craighead, P. Neuzil, C. Campagnolo, C. Batt, “Mechanical resonant immunospecific biological detector,” Appl. Phys. Lett. 77, 450 (2000).
4. D. Rugar, R. Budakian, H. J. Mamin, B. W. Chui, “Single spin detection by magnetic resonance force microscopy,” Nature 430, 329 (2004).
5. M. D. LaHaye, O. Buu, B. Camarota, K. C. Schwab, “Approaching the quantum limit of a nanomechanical resonator,” Science 304, 74 (2004).
6. G. Bressi, G. Carugno, R. Onofrio, G. Ruoso, “Measurement of the Casimir Force between Parallel Metallic Surfaces,” Phys. Rev. Lett. 88, 041804 (2002).
7. S. Iiima,” Helical microtubules of graphitic carbon,” Nature 354, 56 (1991).
8. W. A. Goddard, D. W. Brenner, S. E. Lyshevski. G. J Iagrate (Eds.) *Handbook of Nanoscience, Engineering, and Technology*, CRC Press, New York (2003).
9. J. Cumings and A. Zettl, “Low-friction nanoscale linear bearing realized from multiwall carbon nanotubes,” Science 289, 602 (2000).
10. A. M. Fennimore, T. D. Yuzvinsky, W. Q. Han, M. S. Fuhrer, J. Cumings, A. Zettl, “Rotational actuators based on carbon nanotubes,” Nature 424, 408 (2003).
11. J. Cumings, A. Zettl, “Localization and nonlinear resistance in telescopically extended nanotubes,” Phys. Rev. Lett. 93, 086801 (2004).
12. Q. Zheng, Q. Jiang, “Multiwalled carbon nanotubes as gigahertz oscillators,” Phys. Rev. Lett. 88, 045503 (2002).
13. K. Jensen, K. Kim, and A. Zettl, “An atomic-resolution nanomechanical mass sensor,” Nature Nanotechnology 3, 533 (2008).

접수일: 2017년 3월 20일, 심사일: 2017년 3월 25일,
게재확정일: 2017년 3월 25일