

논문 22-4-4

양단이 고정된 빔형 다결정 3C-SiC 마이크로 공진기의 제작과 그 특성

Fabrication of Polycrystalline SiC Doubly Clamped Beam Micro Resonators and Their Characteristics

정귀상^{1,a}, 이태원¹

(Gwiy-Sang Chung^{1,a} and Tae-Won Lee¹)

Abstract

This paper describes the characteristics of polycrystalline 3C-SiC doubly clamped beam micro resonators. The polycrystalline 3C-SiC doubly clamped beam resonators with 60 ~ 100 μm lengths, 10 μm width, and 0.4 μm thickness were fabricated using a surface micromachining technique. Polycrystalline 3C-SiC micro resonators were actuated by piezoelectric element and their fundamental resonant frequency was measured by a laser vibrometer in vacuum at room temperature. For the 60 ~ 100 μm long cantilevers, the fundamental frequency appeared at 373.4 ~ 908.1 kHz. The resonant frequencies of doubly clamped beam with lengths were higher than simulated results because of tensile stress. Therefore, polycrystalline 3C-SiC doubly clamped beam micro resonators are suitable for RF MEMS devices and bio/chemical sensor applications.

Key Words : Polycrystalline 3C-SiC, Doubly clamped beam, Resonator

1. 서론

최근 무선통신 소자 그리고 화학 및 바이오센서로 응용하기 위해 전기적인 공진기에 비해 높은 품질 계수를 갖는 기계적 공진기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 기계적인 공진기 중에서도 M/NEMS (Micro/Nano Electro mechanical Systems) 기술을 이용한 공진기는 기존의 세라믹 물질을 이용한 것에 비해 초소형화 및 MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit)화가 가능한 장점을 가진다[1,2].

양단이 고정된 빔형 공진기에 대한 연구는 주로 M/NEMS에서 주로 사용되어 오던 물질, 즉, Si, AlN, SiC, GaAs 등을 기반으로 하는 나노역학 공진기에 국한되어 있다[3-6]. 그러나, 나노역학 공진

기는 높은 주파수 특성을 보이지만, 낮은 품질 계수, 주위의 미세 입자에 의한 영향, 온도에 의한 노이즈 효과, 임피던스 매칭 등과 같이 아직까지는 실제 소자응용에 있어서 큰 한계를 지닌다. 한편, 마이크로 공진기의 연구로서 다결정 Si를 기반으로 하는 양단이 고정된 빔, 양단이 자유로운 빔, 디스크 형태의 공진기가 개발되었으며, 각각 HF, VHF, UHF 대역의 주파수 특성을 나타내었다. 그러나, 온도 및 시간에 따른 주파수 안정성이 문제로 남아있다[7].

일반적으로 양단이 고정된 빔형 공진기의 공진 주파수는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$f_0 = 1.03 \frac{h}{L^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1)$$

여기서, h는 두께 [m], L은 길이 [m], E는 영률 [Pa], ρ는 질량밀도 [kg/m³]이다. 식 (1)에서 보인 바와 같이, 양단이 고정된 빔형 공진기는 구조적인

1. 울산대학교 전기전자정보시스템공학부
(울산시 남구 무거2동 산29)
a. Corresponding Author : gschung@ulsan.ac.kr
접수일자 : 2009. 2. 18
심사완료 : 2009. 3. 13

특성으로 인하여 외팔보형 공진기에 비하여 6배 정도 높은 주파수 특성을 보인다.

3C-SiC는 높은 열전도도, 높은 항복전계, 높은 전자포화 속도, 낮은 열팽창계수, 우수한 기계적 강도 및 화학적 안정성으로 인해 극한 환경용 M/NEMS 소자의 재료로 큰 주목을 받고 있다[8]. 더구나, 표 1에서 나타낸 바와 같이 다이아몬드를 제외한 물질 중에서 SiC의 $(E/\rho)^{1/2}$ 가 다른 물질에 비해서 높은 값을 가지므로 3C-SiC는 상대적으로 높은 주파수를 갖는 공진기 제작에 아주 적합하다. 또한, 다결정 3C-SiC는 산화막, 질화막 등을 희생층으로 하는 표면 미세가공기술 적용이 쉽기 때문에 M/NEMS형 공진기 제작이 용이한 장점을 지닌다[9].

본 연구에서는 다결정 3C-SiC 박막을 이용하여 길이가 60 ~ 100 μm 인 양단이 고정된 빔형 마이크 공진기를 제작하였다. 양단이 고정된 빔형 공진기의 공진특성을 분석하기 위해 액츄에이터로서 수정 진동자를 사용하였으며 레이저 변위계를 이용하여 주파수에 따른 변위를 진공상태에서 측정 및 분석하였다.

표 1. 물성 데이터.

Table 1. Material properties.

	ρ [kg/m ³]	E [GPa]
Si	2300	190
SiNx	3440	250
AlN	3230	345
3C-SiC	3200	448
Diamond	3500	1200

2. 실험

본 연구에서는 HMDS (Hexamethyldisilane: $\text{Si}_2(\text{CH}_3)_6$) 전구체와 CVD로 산화막위에 0.4 μm 두께의 다결정 3C-SiC 박막을 성장하였다[9]. 또한, CHF_3 , Ar, O_2 가스를 이용하여 마그네트론 RIE 공정으로 3C-SiC 박막 패턴을 형성하였다[10]. 마지막으로 BOE (Buffered Oxide Etch)를 사용하여 산화막을 제거하고 TMAH (Tetramethylammonium hydroxide)를 이용하여 약 20 분간 Si기판을 식각한 결과, 폭이 10 μm , 길이가 100 ~ 40 μm 인 다결정 3C-SiC 양단이 고정된 빔형 구조물을 제작하였다.

완성된 구조물의 공진특성을 분석하기 위하여 11 MHz의 공진주파수를 가지는 수정 진동자를 액츄에이터로 사용하였다. 그리고 레이저 변위계를 이용하여 주파수에 따른 변위를 진공상태(2.7×10^{-5}

Torr)에서 측정하였다. 그림 1은 본 연구에서 사용한 다결정 3C-SiC 공진기 특성 분석용 측정시스템의 사진이다.

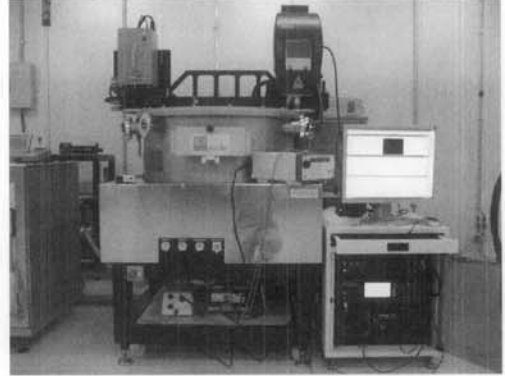


그림 1. 3C-SiC 마이크로 공진기의 특성 측정시스템 사진.

Fig. 1. Photograph of measurement system of 3C-SiC micro resonators.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 길이, 폭, 두께가 각각 60, 10, 0.4 μm 으로 제작된 양단이 고정된 빔형 다결정 3C-SiC의 FE-SEM (Field Emission Scanning Electron Microscope) 이미지로 산화막 제거 공정시에 10 μm 의 언더컷이 발생한 것을 알 수 있다.

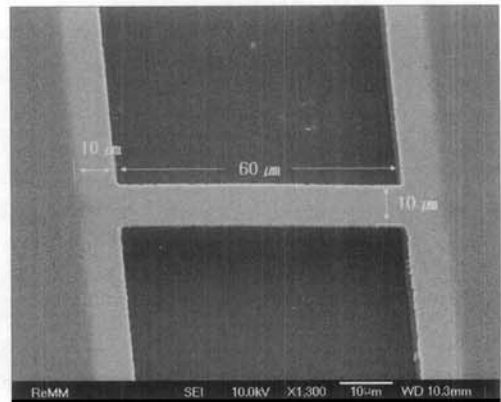


그림 2. 제작된 양단이 고정된 빔형 다결정3C-SiC 마이크로 공진기의 FE-SEM 이미지.

Fig. 2. FE-SEM image of fabricated polycrystalline 3C-SiC doubly clamped beam resonator.

그림 3은 진공상태에서 길이, 폭 두께가 각각 80, 10, 0.4 μm 인 양단이 고정된 빔형 다결정 3C-SiC 마이크로 공진기의 주파수 특성 측정결과를 나타낸 것으로 569.7 kHz에서 피크가 발생함을 알 수 있다. 이외에 같은 폭과 두께를 가지고 길이가 60, 100 μm 인 양단이 고정된 빔형 다결정 3C-SiC 마이크로 공진기는 373.4, 908.1 kHz의 주파수 특성을 각각 나타내었다.

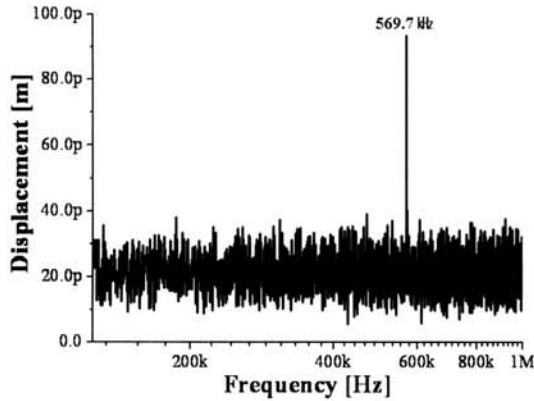


그림 3. 길이 80 μm , 폭 10 μm 인 양단이 고정된 빔형 다결정 3C-SiC 마이크로 공진기의 공진 특성.
Fig. 3. Resonance characteristic of polycrystalline 3C-SiC doubly clamped beam micro resonator with a 80 μm lengths and 10 μm width.

그림 4는 양단이 고정된 빔형 다결정 3C-SiC 마이크로 공진기의 길이에 따른 공진주파수의 변화를 측정값과 계산값을 비교하여 나타낸 것이다. 결과에 의하며 빔의 길이가 줄어들며 따라 공진주파수가 급격히 증가하는 것을 알 수 있는데 이는 식 (1)에서 공진주파수가 길이의 제곱에 반비례하는 특성과 일치함을 알 수 있다. 그러나, 캔틸레버형 공진기와는 다르게 측정값이 계산값보다 높은 특성을 나타낸다[11]. 본 연구에서 사용된 다결정 3C-SiC 박막은 양축응력이 428 MPa이 존재한다고 보고되었지만, 실제로 양단이 고정된 빔형 공진기를 제작한 결과, 구조적인 특성으로 인장응력이 발생한 것으로 사료된다[12,13]. 그러므로 원하는 공진주파수를 갖는 양단이 고정된 빔형 공진기를 제작하기 위해서는 스트레스를 충분히 고려하여 설계하는 것이 요구된다. 그리고 본 연구에서 사용된 다결정 3C-SiC 박막의 평탄도는 대략 10 nm로

박막의 거칠기가 7.1 nm이상인 박막인 경우, 초단파 대역의 주파수를 갖는 마이크로 공진기 제작이 어렵다고 보고되고 있다[14]. 그러므로 높은 주파수를 갖는 양단이 고정된 빔형 공진기를 제작하기 위해서는 보다 낮은 거칠기를 갖는 다결정 3C-SiC 박막성장에 관한 연구가 요구된다.

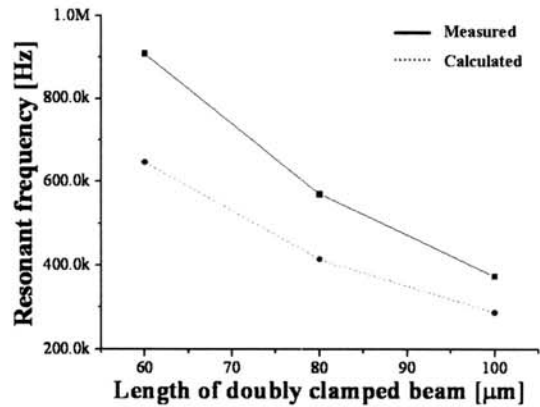


그림 4. 길이에 따른 양단이 고정된 빔형 다결정 3C-SiC 마이크로 공진기의 공진주파수 변화.
Fig. 4. Variations of resonant frequencies of polycrystalline 3C-SiC doubly clamped beam micro resonators with lengths.

4. 결 론

본 연구에서는 산화막위에 성장된 다결정 3C-SiC 박막을 이용하여 양단이 고정된 빔형 마이크로 공진기를 제작하여 공진 특성을 분석 및 평가하였다. 양단이 고정된 빔형 공진기의 공진특성을 분석하기 위하여 수정 진동자와 레이저 변위계를 이용하여 진공 상태에서 측정하였다. 길이가 60 ~ 100 μm 인 양단이 고정된 빔형 다결정 3C-SiC 마이크로 공진기의 공진주파수는 373.4 ~ 908.1 kHz로 측정되었다. 또한, 길이 변화에 따른 다결정 3C-SiC 마이크로 공진기의 공진주파수를 측정된 결과, 계산값보다 높은 값을 나타내었는데 이는 인장응력에 의한 영향으로 예상보다 높은 공진주파수를 나타낸 것이다. 그러므로 원하는 주파수 특성을 갖는 양단이 고정된 빔형 공진기를 제작하기 위해서는 스트레스를 충분히 고려하여 설계하는 것이 필요하다. 또한, 보다 높은 공진주파수를 갖는 공진기

를 제작하기 위해서는 거칠기가 낮은 다결정 3C-SiC 박막 성장 기술이 요구된다.

따라서, 양질의 3C-SiC 박막 성장 기술이 개발된다면, 다결정 3C-SiC 박막을 기반으로 하는 마이크로 혹은 나노 공진기는 무선통신 부품 및 바이오/화학 센서로 유용하게 응용될 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] C. T. C. Nguyen, L. P. B. Katehi, and G. M. Rebeiz, "Micromachined devices for wireless communications", Proc. IEEE, Vol. 86, p. 1756, 1998.
- [2] P. S. Waggoner and H. G. Craighead, "Micro- and nanomechanical sensors for environmental, chemical, and biological detection", Lab Chip, Vol. 7, p. 1238, 2007.
- [3] A. N. Cleland and M. L. Roukes, "Fabrication of high frequency nanometer scale mechanical resonators from bulk Si crystals", Appl. Phys. Lett., Vol. 69, p. 2653, 1996.
- [4] X. M. H. Huang, C. A. Zorman, M. Mehregany, and M. L. Roukes, "Nanodevice motion at microwave frequencies", Nature, Vol. 421, p. 496, 2003.
- [5] H. X. Tang, X. M. H. Huang, M. L. Roukes, M. Bichler, and W. Wegscheider, "Two-dimensional electron-gas actuation and transduction for GaAs nanoelectromechanical systems", Appl. Phys. Lett., Vol. 81, p. 3879, 2002.
- [6] A. N. Cleland, M. Pophristic, and I. Ferguson, "Single-crystal aluminum nitride nanomechanical resonators", Appl. Phys. Lett., Vol. 79, p. 2070, 2001.
- [7] C. T. C. Nguyen, "Vibrating RF MEMS overview: Applications to wireless communications", Proc. SPIE, Vol. 5715, p. 11, 2005.
- [8] M. Mehregany, C. A. Zorman, N. Rajan, and C. H. Wu, "Silicon carbide MEMS for harsh environments", Proc. IEEE, Vol. 86, p. 1594, 1998.
- [9] 정귀상, 김강산, 정준호, "CVD에 의한 M/NEMS용 다결정 3C-SiC 박막 성장", 센서학회지, 16권, 2호, p. 85, 2007.
- [10] 정귀상, 온창민, 남창우, "마그네트론 RIE을 이용한 M/NEMS용 다결정 3C-SiC 식각 연구", 센서학회지, 16권, 3호, p. 197, 2007.
- [11] 정귀상, 이태원, "다결정 SiC 마이크로 공진기의 제작과 그 특성", 센서학회지, 17권, 6호, p. 425, 2008.
- [12] S. C. Jun, X. M. H. Huang, M. Manolidis, C. A. Zorman, M. Mehregany, and J. Hone, "Electrothermal tuning of Al-SiC nanomechanical resonators", Nanotechnology, Vol. 17, p. 1506, 2006.
- [13] 정준호, 정귀상, "APCVD법으로 증착한 3C-SiC 박막의 라만 산란 특성", 전기전자재료학회논문지, 20권, 7호, p. 606, 2007.
- [14] X. M. H. Huang, X. L. Feng, C. A. Zorman, M. Mehregany, and M. L. Roukes, "VHF, UHF and microwave frequency nanomechanical resonators", New J. Phys., Vol. 7, p. 247, 2005.