Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 22, No. 4, p. 314, April 2009.

논 문 22-4-6

다결정 3C-SiC 마이크로 공진기의 온도특성

Temperature Characteristics of Polycrystalline 3C-SiC Micro Resonators

정귀상[1,a], 이태원[1]
(Gwiy-Sang Chung[1,a] and Tae-Won Lee[1])

Abstract

This paper describes the temperature characteristics of polycrystalline 3C-SiC micro resonators. The 1.2 ㎛ and 0.4 ㎛ thick polycrystalline 3C-SiC cantilever and doubly clamped beam resonators with 60 ~ 100 ㎛ lengths were fabricated using a surface micromachining technique. Polycrystalline 3C-SiC micro resonators were actuated by piezoelectric element and their fundamental resonance was measured by a laser vibrometer in vacuum at temperature range of 25 ~ 200 ℃. The TCF(Temperature Coefficient of Frequency) of 60, 80 and 100 ㎛ long cantilever resonators were -9.79, -7.72 and -8.0 ppm/℃. On the other hand, TCF of 60, 80 and 100 ㎛ long doubly clamped beam resonators were -15.74, -12.55 and -8.35 ppm/℃. Therefore, polycrystalline 3C-SiC resonators are suitable with RF MEMS devices and bio/chemical sensor applications in harsh environments.

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

1. 서 론

SiC(Silicon carbide)는 Si에 비해 2 ~ 3배 높은 밴드갭을 가지는 광대역 반도체로서 높은 한계 온도와 화학적으로 매우 안정적인 특성을 가진다. 또한, 내부식성, 내방사성, 내산화성, 내마모성이 매우 양호하기 때문에 극한환경용 M/NEMS(Micro/Nano Electro mechanical Systems) 재료로 큰 주목을 받고 있다[1].

최근에는 SiC의 우수한 기계적 특성으로 인하여 이를 기반으로 하는 공진기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[2]. SiC는 비교적 낮은 질량밀도와 높은 영률을 가지므로 상대적으로 M/NEMS에 사용되는 다른 물질에 비하여 높은 주파수 특성을 갖는 공진기에 적합할 뿐만 아니라 표 1에서 나타낸 바와 같이 비교적 높은 열팽창 계수를 가지지만 우수한 열전도 특성과 높은 녹는점을 가지므로 SiC를 기반으로 하는 M/NEMS 소자는 고온에서 아주 안정된 특성을 보인다. 그리고 다결정 3C-SiC는 산화막, 질화막 등을 희생층으로 하는 표면 미세가공기술 적용이 쉽기 때문에 M/NEMS형 공진기 제작이 용이하다. 이러한 공진기는 무선통신 소자 그리고 화학 및 바이오센서로서 응용이 가능하다[3,4].

표 1. 공진기 재료의 열적특성.
Table 1. Thermal properties of materials used for resonators.

	Si	GaAs	SiC
Thermal conductivity [W/m·K]	157	0.46	500
Coefficient of thermal expansion [10^{-6}/℃]	2.6	5.9	4.2
Melting point [℃]	1415	1237	1800

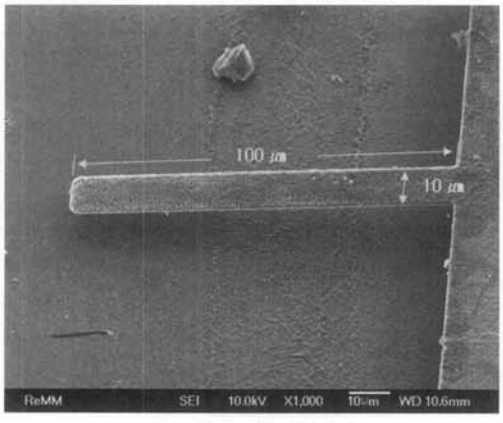
1. 울산대학교 전기전자정보시스템공학부
(울산시 남구 무거2동 산29)
a. Corresponding Author : gschung@ulsan.ac.kr
접수일자 : 2009. 3. 17
심사완료 : 2009. 3. 23

본 연구에서는 다결정 3C-SiC 박막을 이용하여 길이가 60 ~ 100 ㎛인 외팔보형 및 양단이 고정된 빔형 공진기를 제작하여 25 ~ 200 ℃의 온도 분위기와 진공상태에서 공진기의 온도에 따른 공진특성 변화를 분석 및 평가하였다.

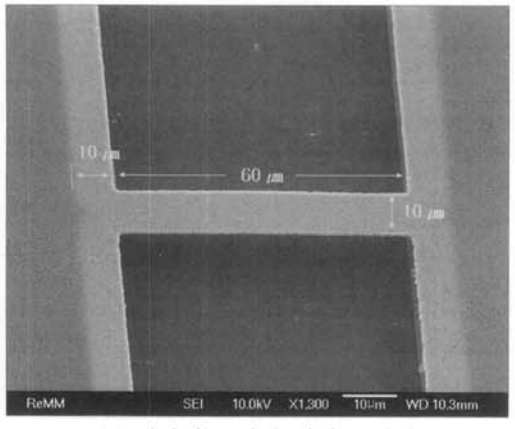
2. 실 험

본 연구에서는 HMDS(Hexamethyildisilane: $Si_2(CH_3)_6$)) 전구체와 CVD로 산화막위에 다결정 3C-SiC 박막을 성장한 후, 마그네트론 RIE 공정으로 3C-SiC 박막 패턴을 형성하였다[5,6]. 마지막으로 BOE(Buffered Oxide Etch)를 사용하여 산화막을 제거하고 TMAH(Tetramethylammonium hydroxide)를 이용하여 약 20 분간 Si기판을 식각한 결과, 길이, 폭, 두께가 각각 60 ~ 100, 10, 1.2 ㎛인 외팔보형과 길이, 폭, 두께가 각각 60 ~ 100, 10, 0.4 ㎛인 양단이 고정된 빔형 공진기를 제작하였다.

완성된 구조물의 공진특성을 분석하기 위하여 11 ㎒의 공진주파수를 가지는 수정 진동자를 액츄에이터로 사용하였고, 레이저 변위계를 이용하여 주파수에 따른 변위를 진공상태(2.7×10^{-5} Torr)에서 온도범위를 25 ~ 200 ℃로 변화시키면서 측정하였다[7].



(a) 외팔보형 공진기



(b) 양단이 고정된 빔형 공진기

그림 2. 다결정 3C-SiC 마이크로 공진기의 FE-SEM 이미지.

Fig. 2. FE-SEM images of poly 3C-SiC micro resonator.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 제작된 다결정 3C-SiC 마이크로 공진기의 FE-SEM(Field Emission Scanning Electron Microscope) 이미지를 나타낸다. 그림 2(a)는 길이, 폭, 두께가 각각 100, 10, 1.2 ㎛인 외팔보형 공진기이며 그림 2(b) 길이, 폭, 두께가 각각 60, 10, 0.4 ㎛인 양단이 고정된 빔형 공진기를 나타낸 것이다.

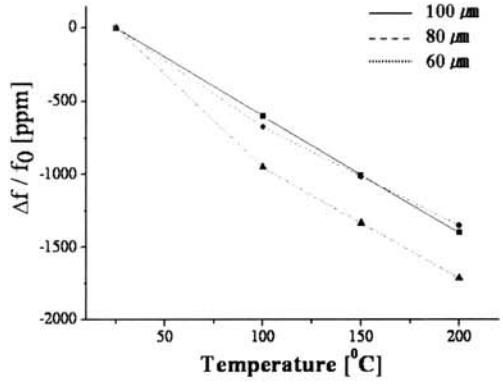
그림 3은 다결정 3C-SiC 마이크로 공진기의 온도에 따른 특성변화를 나타낸 것이다. 그림 3(a)에서 길이가 각각 60, 80, 100 ㎛인 외팔보형 공진기의 TCF(Temperature Coefficient of Frequency)는 -9.79, -7.72, -8.0 ppm/℃로 측정되었다. 한편, 그림 3(b)는 길이가 각각 60, 80, 100 ㎛인 양단이 고정된 빔형 공진기의 TCF는 -15.74, -12.55, -8.35 ppm/℃로 측정되었다.

주위 온도 변화에 의한 공진기의 특성변화 원인으로는 영률의 온도 의존성을 들 수 있으며 다음 수식과 같이 나타낼 수 있다[8].

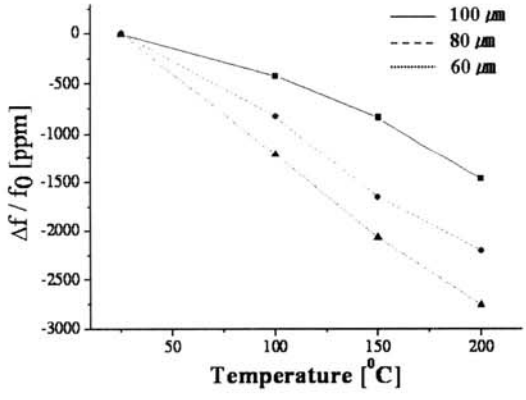
$$E(T) = E_0 - BTexp(T - T_0) \quad (2)$$

여기서, E_0는 절대온도 0 K에서 영률을 나타낸다. B는 온도에 무관한 상수이고, T는 온도를 나타낸다. 기존의 다결정 Si을 기반으로 하는 양단이 고정된 빔형 공진기의 TCF는 -50, -16.7 ppm/℃로서, 본 연구 결과보다 높은 값을 나타내는데, 이는 영률의 온도 의존특성에서 Si은 -80 $ppmK^{-1}$을 보였지만, 3C-SiC 박막은 보다 낮은 -46 $ppmK^{-1}$이기 때문으로 사료된다[4,9,10].

이외에 온도에 의한 효과로서 열팽창에 의한 스트레스 변화를 들 수 있다[11]. 본 연구에서 사용된 다결정 3C-SiC 박막은 산화막 위에 성장되었는데, 온도가 올라감에 따라 다결정 3C-SiC와 SiO_2의 열팽창 계수 차이로 인해 스트레스를 발생시킨다. 외팔보형 공진기가 양단이 고정된 빔형 공진기 보다 안정된 온도특성을 보이는 것은 한쪽만 고정되어 있는 외팔보형 공진기에서 열팽창에 의한 스트레스가 적게 작용하기 때문으로 사료된다.



(a) 외팔보형 공진기



(b) 양단이 고정된 빔형 공진기

그림 3. 마이크로 공진기의 온도에 따른 변화율.
Fig. 3. Change of resonant frequency of micro resonators with temperature.

4. 결 론

본 연구에서는 산화막위에 성장된 다결정 3C-SiC 박막을 이용하여 외팔보형 및 양단이 고정된 빔형 공진기를 제작하여 25 ~200 ℃의 온도 분위기에서 공진 특성을 분석 및 평가하였다. 마이크로 공진기의 공진특성을 분석하기 위하여 수정 진동자와 레이져 변위계를 이용하였다. 길이가 각각 100, 80, 60 ㎛인 외팔보형 공진기의 TCF는 -8.0, -7.72, -9.79 ppm/℃로 측정되었다. 길이가 각각 100, 80, 60 ㎛인 양단이 고정된 빔형 공진기의 TCF는 -8.35, -12.55, -15.74 ppm/℃로 측정되었다.

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

참고 문헌

[1] M. Mehregany, C. A. Zorman, N. Rajan, and C. H. Wu, "Silicon carbide MEMS for harsh environments", Porc. IEEE, Vol. 86, p. 1594, 1998.

[2] Y. T. Yang, K. L. Ekinci, X. M. H. Huang, L. M. Schiavone, M. L. Roukes, and M. Mehregany, "Mono-crystalline silicon carbide nanoelectromechanical systems", Appl. Phys. Lett., Vol. 78, p. 165, 2001.

[3] P. S. Waggoner and H. G. Craighead, "Micro- and nanomechanical sensors for environmental, chemical, and biological detection", Lap Chip, Vol. 7, p. 1238, 2007.

[4] K. Wang, A. C. Wong, and C. T. C. Nguyen, "VHF free-free beam high Q micro-mechanical resonators", J. Microelectromech. Syst., Vol. 9, p. 347, 2000.

[5] 정귀상, 김강산, 정준호, "CVD에 의한 M/NEMS용 다결정 3C-SiC 박막 성장", 센서학회지, 16권, 2호, p. 85, 2007.

[6] G. S. Chung and C. M. Ohn, "Magnetron reactive ion etching of polycrystalline 3C-SiC thin films", J. Korean Phys. Soc., Vol. 51, p. 1673, 2007.

[7] 정귀상, 이태원, "다결정 SiC 마이크로 공진기의 제작과 그 특성", 센서학회지, 17권, 6호, p. 425, 2008.

[8] U. Gysin, S. Rast, P. Ruff, E. Meyer, D. W. Lee, P. Vettiger, and C. Gerber, "Temperature dependence of the force sensitivity of silicon cantilevers", Phy. Rev. B, Vol. 69, p. 045403-1, 2004.

[9] C. M. Su, M. wuttig, A. Fekade, and M. Spencer, "Elastic and anelastic properties of

chemical vapor deposited epitaxial 3C-SiC", J. Appl. Phys., Vol. 77, p. 5611, 1995.

[10] H. Guckel, C. Rypstat, M. Nesnidal, J. D. Zook, D. W. Burns, and D. K. Arch, "Polysilicon resonant microbeam technology for high performance sensor applications", in Proc. IEEE Solid State Sensor and Actuator Workshop, Hilton Head, SC, p. 153, 1992.

[11] G. Stemme, "Resonant silicon sensors", J. Micromech. Microeng., Vol. 1, p. 113, 1991.