

도핑농도에 따른 다결정 3C-SiC 마이크로 공진기의 특성

정귀상[†] · 이태원

Characteristics of poly 3C-SiC micro resonators with doping concentrations

Gwi-yang Chung[†] and Tae-won Lee

Abstract

This paper describes the characteristics of poly 3C-SiC micro resonators with $3 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ doping concentrations. The 1.2 μm thick cantilever and the 0.4 μm thick doubly clamped beam resonators with different lengths were fabricated using poly 3C-SiC thin films. The characteristics of poly 3C-SiC micro resonators were evaluated by quartz and a laser vibrometer in vacuum at room temperature. The resonant frequencies of micro resonators decreased with doping concentrations owing to reduction in the Young's modulus of poly 3C-SiC thin films. It was confirmed that the resonant frequencies of poly 3C-SiC resonators are controllable by doping concentrations. Therefore, poly 3C-SiC resonators could be applied to MEMS devices and bio/chemical sensor applications.

Key Words : poly 3C-SiC, resonator, cantilever, doubly clamped beam

1. 서 론

최근 M/NEMS 기술을 이용하여 높은 품질계수를 가지면서 초소형화 및 MMIC(monolithic microwave integrated circuit)화가 가능한 마이크로 공진기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^{1,2}. 이러한 공진기 제작에 있어서 원하는 주파수 특성을 갖는 공진기를 설계하는 것이 아주 중요하다.

일반적으로 마이크로 공진기의 공진주파수는 식(1)과 같이 표현된다. 식(1)에서 h 는 두께 [m], L 은 길이 [m], E 는 영률 [Pa], ρ 는 질량밀도 [kg/m^3] 그리고, λ_n 은 진동모드에 따른 상수를 각각 나타낸다.

$$f_n = \frac{(\lambda_n)^2}{2\pi\sqrt{12}} \frac{h}{L^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1)$$

원하는 주파수 특성을 갖는 공진기를 설계 및 제작하기 위해서는 식(1)에서와 같이 마이크로 공진기의 기하학적인 형상과 박막의 물성을 제어함으로써 가능하다.

넓은 범위에서 주파수 제어를 목적으로 공진기 설계 시에는 기하학적 구조를 변화시키는 것이 유리하지만, 좁은 범위에서의 주파수 제어를 목적으로 할 경우에는 박막의 물성을 변화시키는 것이 큰 장점을 지닌다.

3C-SiC(cubic silicon carbide)는 비교적 낮은 질량밀도와 높은 영률을 가지므로 높은 주파수를 갖는 공진기 제작에 아주 적합한 광대역 반도체이다³. 또한, 다결정 3C-SiC는 산화막, 질화막 등을 희생층으로 하는 표면 미세가공기술 적용이 쉽기 때문에 M/NEMS(micro/nano electro mechanical systems)형 공진기 제작이 용이하다⁴. 게다가, 다결정 3C-SiC는 in-situ 도핑을 통하여 도핑농도를 변화시킬 수 있어서 박막의 기계적 특성, 즉 영률의 제어가 가능하다⁵.

본 연구에서는 0~40 sccm의 N_2 도핑가스 유량을 제어하여 $3 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 인 도핑농도를 갖는 다결정 3C-SiC 박막을 성장하였으며 이를 이용하여 외팔보형 및 양단이 고정된 빔형 공진기를 제작하여 특성을 분석하였다. 공진기의 특성을 분석하기 위해 수정 진동자와 레이저 변위계를 이용하여 진공상태에서 측정 및 분석하였다.

2. 실 험

본 연구에서는 HMDS(hexamethyldisilane: $\text{Si}_2(\text{CH}_3)_6$)

울산대학교 전기전자정보시스템공학부(School of Electrical Eng., University of Ulsan)

[†]Corresponding author: gschung@ulsan.ac.kr
(Received : February 6, 2009, Revised : March 18, 2009
Accepted : March 26, 2009)

전구체와 N₂ 도핑가스로 산화막위에 in-situ 도핑된 다결정 3C-SiC 박막을 성장시켰다^[4]. 또한, CHF₃, Ar, O₂ 가스를 이용하여 마그네트론 RIE 공정으로 3C-SiC 박막 패턴을 형성하였다^[6]. 마지막으로 BOE(buffered oxide etch)를 사용하여 산화막을 제거하고 TMAH(tetramet hylammonium hydroxide)를 이용하여 약 20 분간 Si기판을 식각한 결과, 길이, 폭, 두께가 각각 40~100, 10, 1.2 μm인 외팔보형 공진기와 길이, 폭, 두께가 각각 60~100, 10, 0.4 μm인 양단이 고정된 빔형 공진기를 제작하였다.

제작된 공진기의 특성을 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^[7].

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 제작된 다결정 3C-SiC 마이크로 공진기의 FE-SEM 이미지로 윗 및 아래부분은 외팔보형과 양단이 고정된 빔형 공진기이다.

Fig. 2(a)와 (b)에서는 외팔보형 및 양단이 고정된 빔형 공진기의 도핑농도에 따른 공진주파수 변화를 나타내는데, 두 공진기 모두 도핑농도가 증가할수록 공진주파수가 감소함을 알 수 있다. 이는 3C-SiC 박막이 N형으로 도핑되는 과정에서 질소원자가 탄소원자를 치환하게 되는데, 이때, N(0.7 Å) 원자의 공유결합반지름이 C(0.77 Å)와 Si(1.17 Å)의 공유결합 반지름 보다 작아서 SiC 박막 내부에 대체결합에 의한 격자 수축이 발생한다. 이처럼, 도핑물질의 주입은 박막

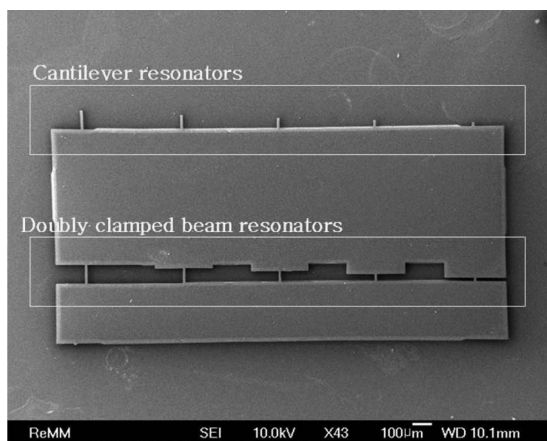
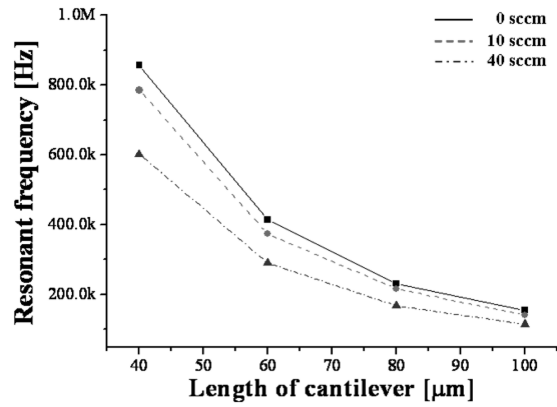
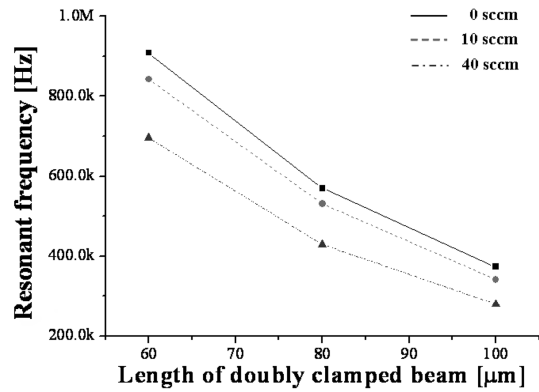


Fig. 1. FE-SEM image of fabricated poly 3C-SiC micro resonators.



(a) 외팔보형 공진기



(b) 양단이 고정된 빔형 공진기

Fig. 2. Variation of resonant frequencies of poly 3C-SiC micro resonators with doping gas flow.

에서 격자상수의 변형으로 인한 스트레스를 유발하고, 이것은 박막의 기계적 성질인 영률과 경도를 감소시키게 된다^[8,9]. 이와 같이 다결정 3C-SiC 박막의 영률이 감소함으로써 공진주파수가 도핑농도에 따라서 감소한 것으로 사료된다. 그러므로 보다 높은 공진주파수를 갖는 공진기를 실현하기 위해서는 보다 낮은 도핑농도를 갖는 다결정 3C-SiC 박막 성장 기술이 요구된다.

도핑가스 유량에 따른 질량밀도의 변화가 미세하다고 가정할 때, 기하학적 구조가 같은 두 공진기의 공진주파수의 비는 식(2)와 같이 사용된 박막의 영률의 비에 제공근과 같다.

$$\frac{f_1}{f_2} = \sqrt{\frac{E_1}{E_2}} \quad (2)$$

응력에 의한 영향이 적은 외팔보형 공진기의 실험결

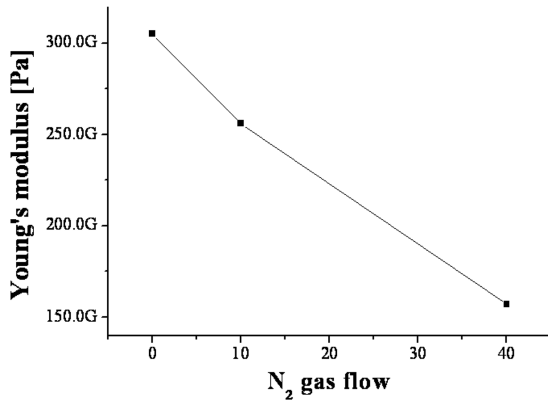


Fig. 3. Young's modulus variations of poly 3C-SiC thin films with doping gas flow.

과를 바탕으로 식(2)을 이용하여 도핑농도에 따른 다결정 3C-SiC 박막의 영률을 계산하였고, 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 도핑농도가 $3 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 로 증가함에 따라 영률은 305~157 GPa로 감소할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 in-situ 도핑된 다결정 3C-SiC 박막을 기반으로 외팔보형 및 양단이 고정된 빔형 공진기를 제작하여 도핑량이 공진기의 특성에 미치는 영향을 분석 및 평가하였다. 마이크로 공진기의 특성을 분석하기 위하여 수정 수정진동자와 레이저 변위계를 사용하였다. 측정결과, 두 종류의 공진기 모두에서 도핑농도가 증가함에 따라 공진주파수가 감소함을 확인하였고, 이를 바탕으로 계산한 결과 도핑농도가 $3 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 로 증가함에 따라 영률은 305~157 GPa로 감소할 수 있다. 또한, 높은 주파수 특성을 갖는 공진기를 실현하기 위해서는 도핑농도가 낮은 다결정 3C-SiC 박막 성장 기술이 요구된다.

따라서, 다결정 3C-SiC 박막의 도핑농도를 이용하여 공진기의 특성을 제어할 수 있기 때문에 원하는 주파수 특성을 갖는 마이크로 혹은 나노 공진기는 무선통신 부품 및 바이오/화학 센서로 유용하게 응용될 것으로 기대된다.

5. 감사의 글

본 연구는 지식경제부·울산광역시 지원 울산대학교 네트워크 기반 자동화연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] P. S. Waggoner, and H. G. Craighead, "Micro- and nanomechanical sensors for environmental, chemical, and biological detection," *Lap Chip*, vol. 7, pp. 1238-1255, 2007.
- [2] C. T. C. Nguyen, L. P. B. Katehi, and G. M. Rebeiz, "Micromachined devices for wireless communications," *Proc. IEEE*, vol. 86, pp. 1756-1768, 1998.
- [3] Y. T. Yang, K. L. Ekinici, X. M. G. Huang, L. M. Schiavone, M. L. Roukes, and M. Mehregany, "Monocrystalline silicon carbide nanoelectromechanical systems," *Appl. Phys. Lett.* vol. 78, pp. 165-167, 2001.
- [4] K. S. Kim and G. S. Chung, "Electrical characteristics of in-situ doped poly crystalline 3C-SiC thin films deposited by using CVD," *J. Kor. Phys. Soc.*, vol. 53, pp. 822-825, 2008.
- [5] 김강산, 정귀상, "도핑농도에 따른 다결정 3C-SiC 박막의 기계적 특성," *센서학회지*, 제17권, 제4호, pp. 256-260, 2008.
- [6] G. S. Chung, C. M. Ohn, "Magnetron reactive ion etching of polycrystalline 3C-SiC thin films," *J. Kor. Phys. Soc.*, vol. 51, pp. 1673-1678, 2007.
- [7] 정귀상, 이태원, "다결정 SiC 마이크로 공진기의 제작과 그 특성," *센서학회지*, 제17권, 제6호, pp. 425-428, 2008.
- [8] B. J. Wijesundara, D. Gao, C. Carraro, R. T. Howe, and R. Maboudian, "Nitrogen doping of polycrystalline 3C-SiC films grown using 1,3-disilabutane in a conventional LPCVD reactor," *J. Crystal Growth*, vol. 259, pp. 18-25, 2003.
- [9] J. Zhang, R. T. Howe, and R. Maboudian, "Electrical characterization of n-type polycrystalline 3C-SiC thin films deposited by 1,3-disilabutane," *J. Electrochemical Soc.*, vol. 153, pp. 548-551, 2006.

정 귀 상

• 센서학회지 제17권, 제6호, p. 425 참조
 • 현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수

이 태 원

• 센서학회지 제17권, 제6호, p. 425 참조
 • 현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 석사과정