

나노/마이크로 스케일 바이오-화학 센싱 디바이스의 공진점 변화 원인에 대한 고찰

Understanding on the Origin of Resonance Shift in Nano/Micro-scale Bio-chemical Sensing Devices

임시형† · 신윤희* · 임동현**

Si-Hyung Lim†, Yoonhyuk Shin*, Donghyun Lim**

1. 서 론

최근 초소형 구조물의 공진주파수 변화를 이용하여 물리, 화학 및 바이오 센싱을 하는 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다⁽¹⁻³⁾. 초소형 구조물에 분자들이 흡착되어질 때, 흡착분자들로 이루어진 재료층이 더해짐과 더불어서 흡착분자들로 인한 표면응력이 발생한다. 흡착분자로 이루어진 재료층은 질량의 변화와 구조물의 강성값의 변화를 발생시킨다.

본 연구에서는 마이크로캔틸레버와 마이크로 브리지에 대하여, 구조물의 경계조건 및 크기 변화에서 오는 표면응력 발생 및 재료층 추가로 인한 공진주파수 변화의 특성 차이를 비교하였다.

2. 본 론

2.1 모델링

공진주파수 변화를 이용하는 초소형 구조물 센서로 마이크로캔틸레버 및 마이크로브리지를 사용할 수 있다. Fig. 1 처럼 마이크로캔틸레버 및 마이크로브리지의 한쪽 면에 Gold를 증착하고 그 위에 alkane thiol self-assembled monolayer (SAM) 을 코팅한다. 구조층의 재료로는 실제로 많이 사용되는 실리콘 질화물(SiN_x)과 SU-8을 사용하였다. 구조물의 폭은 30 μm 로 고정하고 길이에 대한 폭의 비(L/b) 값을 1 ~ 10 으로 하여 여러 길이의 구조물에 대하여 상용 유한 요소 프로그램인 ANSYS 를

사용하여 해석을 진행하였다. 마이크로캔틸레버와 마이크로브리지 표면에서 alkane thiol SAM이 형성되어질 때, alkane thiol 분자층 형성과 동시에 0.51 ~ 15.9 N/m 정도의 표면응력이 발생하는 것으로 알려져 있다⁽⁴⁾. 표면응력 변화는 온도변화로 변환하여 해석에 사용하였다.

2.2 해석 결과

실리콘 질화물 마이크로캔틸레버의 경우, Fig. 2(a) 와 같이 분자흡착에 따른 표면응력 ($\Delta\sigma = 0.51$ N/m)에 의한 공진주파수 변화는 0.1 ~ 10 Hz , 재료층의 추가에 의한 변화는 2 ~ 160 Hz로 나타났다. Fig. 2(b) 에서와 같이 마이크로 브리지의 경우는 표면응력에 의하여 4,500 ~ 5,000 Hz, 재료층의 추가에 의하여 10 ~ 1,000 Hz 의 공진주파수 변화가 발생하였다. Fig. 2(c), (d) 는 각각 캔틸레버와 브리지의 초기공진주파수 (f_0) 에 대한 공진주파수 변화량의 비로 민감도 ($\Delta f/f_0$) 를 나타낸다. 마이크로캔틸레버와 브리지 모두 L/b 값이 커질수록 민감도가 증가 하였으며, 마이크로브리지가 약 10 ~ 100 배 정도 큰 민감도를 가지고 있음을 알 수 있다. SU-8 로 이루어진 구조물의 경우, Fig. 3(a), (b) 와 같이 마이크로캔틸레버 및 브리지 각각 약 1 ~ 40 Hz, 약 300 ~ 500 Hz 이다. 재료층 추가에 의한 공진주파수 변화는 마이크로캔틸레버 및 브리지



Fig. 1 Schematic diagram of (a) microcantilever and (b) a microbridge

† 임시형; 국민대학교 기계시스템공학부
E-mail : shlim@kookmin.ac.kr
Tel : (02)910-4672

* 자동차부품연구원

** 국민대학교 기계설계대학원

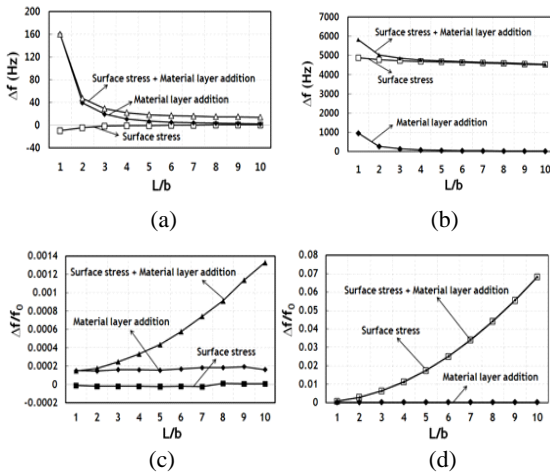


Fig. 2 The resonance frequency shift and sensitivity ($\Delta f/f_0$) of SiNx ($1 \mu\text{m}$) microstructures for various L/b ratios. (a) and (c) are for microcantilevers. (b) and (d) are for microbridges.

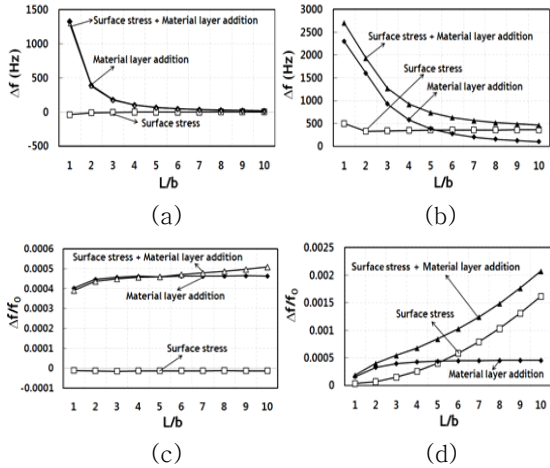


Fig. 3 The resonance frequency shift and sensitivity ($\Delta f/f_0$) of SU-8 (thickness $10 \mu\text{m}$) microstructures for various L/b ratios. (a) and (c) are for microcantilevers. (b) and (d) are for microbridges.

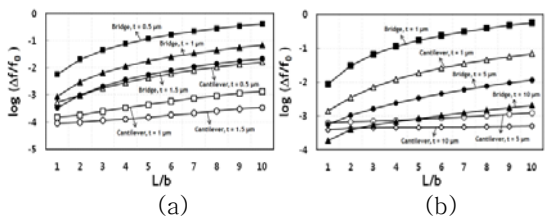


Fig. 4 The resonance sensitivity ($\Delta f/f_0$) comparison for microstructures having various L/b ratios and thickness values (a) SiNx (thickness $0.5 \mu\text{m} \sim 1.5 \mu\text{m}$), (b) SU-8 (thickness $1 \sim 10 \mu\text{m}$)

각각 약 20 ~ 1200 Hz, 약 100 ~ 2,300 Hz 이다. Fig. 3(c), (d)는 위와 같은 마이크로캔틸레버 및 브리지 각각의 조건별 민감도($\Delta f/f_0$)를 나타낸다. SU-8의 마이크로캔틸레버 및 브리지 경우 모두 L/b 값이 커질수록 민감도가 증가한다. 마이크로브릿지가 캔틸레버보다 약 2 ~ 10 배 정도 더 높게 나타났다. Fig. 4는 표면응력 및 재료층의 추가가 모두 작용했을 때, 실리콘 질화물, SU-8의 마이크로캔틸레버와 브리지의 민감도를 두께 별로 나타내었다. 마이크로브릿지가 캔틸레버에 비해 실리콘 질화물, SU-8의 경우 민감도가 각각 약 100, 10 배 더 높게 나타났다.

3. 결론

본 연구에서는 상용 유한요소프로그램 ANSYS를 이용하여, 마이크로캔틸레버와 마이크로브리지에 대하여 alkane thiol SAM 과 같은 분자들의 흡착에 의한 공진주파수 변화를 해석하였다. 분자들의 흡착 반응에서 재료층의 추가와 표면응력변화가 동시에 일어난다. 마이크로캔틸레버의 경우 재료층의 추가가 표면응력변화보다 큰 영향을 공진주파수 변화에 더 큰 영향을 주고, 마이크로브리지에서는 표면응력의 변화가 재료층의 추가에 비해 큰 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다. 민감도는 마이크로캔틸레버보다 마이크로브릿지가 더 우수한 결과를 보였다.

후 기

본 연구는 민·군 겸용 기술사업의 지원을 받아 수행되었으므로 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- (1) T. Thundat and A. Majumdar, 2003, "Sensors and Sensing in Biology and Engineering," Springer.
- (2) J. Tamayo, D. Ramos, J. Mertens, and M. Calleja, 2006, Appl. Phys. Lett., Vol 89, 224104.
- (3) S. Shin, J. P. Kim, S. J. Sim, and J. Lee, 2008, Appl. Phys. Lett., Vol 93, 102902.
- (4) M. Godin, P. J. Williams, Vincent Tabard-Cossa Olivier Laroche, L. Y. Beaulieu, R. B. Lennox, and Peter Grutter, 2004, Langmuir, Vol 20, pp.7090-7096.