

# 마이크로 구조의 표면응력 변화에 따른 공진주파수 민감도

## The Sensitivity of Resonance Frequency Due to Surface Stress Change in Micro-Structure

이수일† · 강상욱\*  
Soo Il Lee, Sang Wook Kang

### 1. 서 론

최근 마이크로 스케일의 생화학적 반응 센서로 외팔보 혹은 양단고정 보 형태의 MEMS구조가 널리 이용되고 있다.[1] 특히 이러한 구조의 마이크로센서들은 구조 표면을 반응 층으로 기능화하여 해당하는 분자간의 반응을 일으키고, 이로부터 발생하는 표면응력(surface stress)에 의해 구조에 변형이 발생하게 된다. 이 때 마이크로 구조의 변형량 혹은 고유진동수 변화 등을 감지하여 센서 기능을 하게 한다.

이러한 마이크로구조 센서의 특성을 파악하고 설계를 진행하기 위하여 다양한 연구가 진행되고 있는데, 본 연구에서는 SiN 화합물 구조를 대상으로 상부에 반응층으로 Dodecane thiol 층으로부터 발생하는 표면응력의 영향을 고려하여 고유진동수 변화 및 그 민감도를 계산하였다. 최근 유한요소법 혹은 다양한 해석적인 방법을 통한 고유진동수 식을 유도하는 방법들이 널리 활용되는데, 현재 발표된 식 중 직관적으로 쉽게 설명이 가능한 McFarland[2]의 유도식을 바탕으로 외팔보 및 양단고정보의 확장을 시도하였다. 또한 구조의 길이와 폭의 비율에 따라 공진주파수의 변화량 및 민감도를 계산하였다.

### 2. 표면응력에 따른 공진주파수 변화

일반적인 마이크로센서 구조의 단면은 Fig. 1 에 나타낸 바와 같다. Si 화합물 기저부 위에 반응 층을 올리기 위해 먼저 Au층을 50 nm 내외로 증착을

한다. Au층 상단에 반응분자 층을 증착하고, 센서의 분자 반응에 의해 마이크로구조 상단에 표면응력이 발생하게 된다. 발생한 표면응력은 구조물의 길이방향으로 작용하는 인장력 형태가 일반적이며, 때에 따라서는 압축력으로 작용하는 경우도 있다. 따라서 이러한 표면응력의 변화는 구조물의 강성뿐 아니라 표면분자 층 두께에 따라 질량 변화 효과가 발생하게 된다.

외팔보 구조를 갖는 마이크로캔틸레버의 경우, 1 차 굽힘모드에 해당하는 고유진동수는 외팔보 운동 방정식의 고유치로부터 다음과 같이 유도된다.[5]

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{\alpha_n}{L} \right)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} = \frac{\alpha_n^2}{2\sqrt{3}\pi} \sqrt{\frac{k_b}{m_b}} \quad (1)$$

이 때 1차 굽힘모드에 해당하는  $\alpha_n = 1.8751$  이다.  $k_b$  및  $m_b$  는 각각 외팔보 구조의 등가 굽힘 강성 및 전체 질량을 나타낸다. 만약 반응층으로부터 표면응력 변화  $\Delta\sigma$  가 추가된 경우에는 질량변화 효과  $\Delta m$  을 포함하여 고유진동수 식을 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\tilde{f}_n = \frac{\tilde{\alpha}_n^2}{2\sqrt{3}\pi} \sqrt{\frac{k_b}{m_b + \Delta m} + \frac{3E_{ad}I_{ad}}{L^3(m_b + \Delta m)}} \quad (2)$$

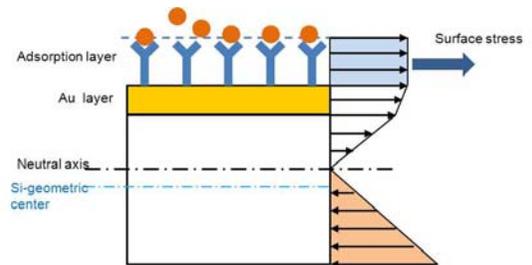


Fig. 1 Surface Stress in Microsensors

† 교신저자: 정희원, 서울시립대학교 기계정보공학과  
E-mail : leesooil@uos.ac.kr

Tel : 02-2210-5667, Fax : 02-2210-5575

\* 한성대학교 기계시스템공학과

한편, 양단고정보 구조를 갖는 마이크로브릿지의 경우, 1차 굽힘모드의 고유함수 계수  $\alpha_n = 4.7300$  이고, 표면응력 변화  $\Delta\sigma$  와 질량변화 효과  $\Delta m$  을 포함하여 유도한 고유진동수 식은 다음과 같다.

$$\tilde{f}_n = \frac{\tilde{\alpha}_n^2}{16\sqrt{3}\pi} \sqrt{\frac{k_b}{m_b + \Delta m} + \frac{192E_{ad}I_{ad}}{L^3(m_b + \Delta m)}} \quad (3)$$

다음 Table 1은 위에서 유도한 식(2)와 (3)에 적용한 마이크로구조의 물성치를 나타내며, Fig. 2와 3은 이러한 값을 이용하여 계산한 공진주파수의 변화를 나타낸다. 먼저 Fig. 2 에서와 같이 마이크로 캔틸레버의 경우 캔틸레버 길이와 폭의 상대 비율  $L/b$  에 따라 고유진동수의 민감도의 절대값이 감소하는 경향을 나타낸다. 반응층의 질량효과만 고려한 경우에는 구조 길이에 따른 변화가 거의 없지만 표면응력 효과까지 고려한 경우에는 짧은 구조 영역에서 공진주파수 민감도가 상당히 크게 나타난다.

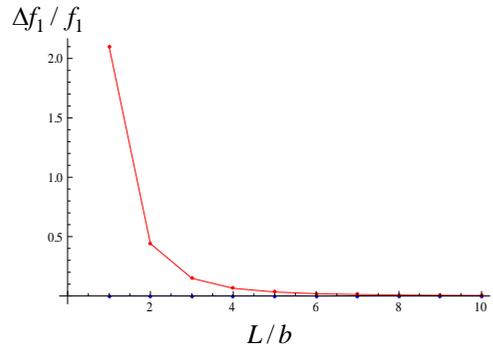
마이크로브릿지의 경우 질량 및 표면응력 효과에 따른 고유진동수의 차이를 Fig. 3에 나타내었는데 캔틸레버의 민감도의 경우와 유사한 특성을 보이고 있다. 브릿지 구조의 길이가 상대적으로 길어질수록 고유진동수 민감도는 점차 감소해 감을 알 수 있다.

### 3. 결 론

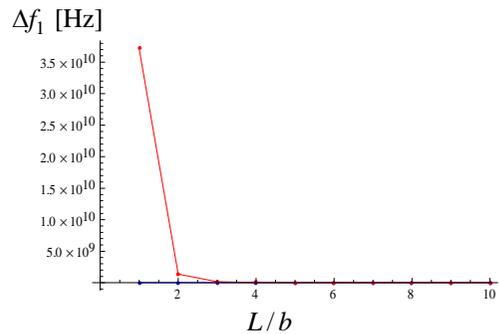
마이크로구조 센서의 특성을 파악하고 설계를 진행하기 위하여 표면응력의 영향을 고려하여 고유진동수 변화 및 그 민감도를 계산하였다. 마이크로 구조의 길이와 폭의 비율에 따라 공진주파수의 변화량 및 민감도를 계산하였는데 마이크로캔틸레버와 마이크로브릿지 구조 모두 상대길이 비율이 커질수록 공진주파수의 민감도가 감소하는 경향을 나타내고 있다. 또한 표면층의 질량효과만 고려했을 경우에는 주파수의 변화가 거의 없음을 알 수 있다.

**Table 1** Properties of Microstructures

	SiN <sub>x</sub>	Au	Dodecane thiol (adsorption layer)
Young's modulus (GPa)	100	70	12.9
Mass density (kg/m <sup>3</sup> )	2,400	19,300	675
Thickness (nm)	1,000	50	1.5



**Fig. 2** Sensitivity of resonance frequency of microcantilevers (Blue: mass change; Red: surface stress and mass change)



**Fig. 3** Resonance frequency change in microbridges (Blue: mass change; Red: surface stress and mass change)

### 후 기

본 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.(과제번호 2010-0011761)

### 참고문헌

- (1) Goeders, K. M., Colton, J. S., Bottomley, L. A., 2008, "Microcantilevers: Sensing chemical interactions via mechanical motion," *Chemical Reviews*, Vol. 108, pp522-542.
- (2) McFarland, A. W., Poggi, M. A., Doyle, J., Bottomley, L. A., Colton, J. S., 2005, "Influence of surface stress on the resonance behavior of microcantilevers," *Applied Physics Letters*, Vol. 87, 053505.