

생화학센서용 마이크로구조물의 공진주파수 변화 고찰 Frequency Change in Microstructure for Biochemical Sensors

이수일† · 한동희* · 김일광* · 임시형**

Soo Il Lee, Dong Hee Han, Il Kwang Kim and Si Hyung Lim

1. 서 론

최근 마이크로구조물(microstructure)을 이용한 MEMS(Microelectromechanical Systems) 구조가 생화학센서용으로 많이 사용되고 있다. 그 중에서도 외팔보나 양단고정 보 형태가 주로 사용되는데 이러한 구조의 센서들에서는 구조의 표면과 감지하고자 하는 분자간의 반응으로 인해 표면응력(surface stress)이 발생한다. 이 때 발생한 표면응력 때문에 구조에는 변형이 생기거나 고유진동수 변화 등이 일어나고 이러한 변화를 측정하여 센서 기능을 하게 된다.

본 연구에서는 이러한 마이크로구조 센서의 특징을 파악하고 설계하기 위해 유한요소법을 이용하여 표면응력의 영향을 고려한 고유진동수 변화를 해석하였다. 마이크로구조물은 SiN 화합물의 상부에 Dodecane thiol 층을 반응층으로 하여 모델링 하였으며 마이크로구조물 상부에 표면응력을 직접 적용하였다. 또한 표면응력이 있을 때 구조물의 형태에 따른 영향을 확인하기 위해 길이와 폭의 비율에 따른 공진주파수의 변화량을 확인하였다.

2. 유한요소모델을 이용한 표면응력에 따른 공진주파수의 변화

일반적인 마이크로센서(microsensor) 구조는 Fig. 1과 같이 Si 화합물을 기저로 하고 그 위에 반응층이 있는 형태이다. 반응층을 올리기 위해 먼저 Si 화합물 위에 Au 층을 50nm 내외로 증착하고 그 위에 반응층을 증착하여 마이크로구조물 상단에 표면

응력이 작용하도록 한다. 이 때 작용하는 표면응력은 일반적으로 구조물의 길이방향으로 인장력(tension)이 작용하며 압축력(compression)이 작용하는 경우도 있다. 따라서 구조물의 강성뿐만 아니라 표면분자 층의 두께에 따라 발생하는 질량변화가 표면응력 변화에 영향을 주게 된다⁽¹⁾.

이를 확인하기 위해 외팔보 구조를 갖는 마이크로캔틸레버(microcantilever)와 양단고정 보 구조를 갖는 마이크로브릿지(microbridge) 두 구조에 대해서 Table 1의 재질특성을 이용하여 모델링 하였다. 해석은 상용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS Workbench 14.0을 통해 유한요소해석을 진행하였다. 이 때, 마이크로 구조물은 SOLID186 요소를 적용하였으며 정적구조해석(static structural analysis)을 통해 표면응력을 계산하고 모달해석(modal analysis) 과의 연성해석(coupled analysis)을 통해서 표면 응력이 적용된 모델의 공진주파수

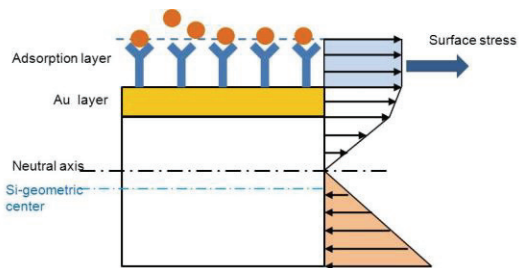


Fig. 1 Surface Stress in Microsensors

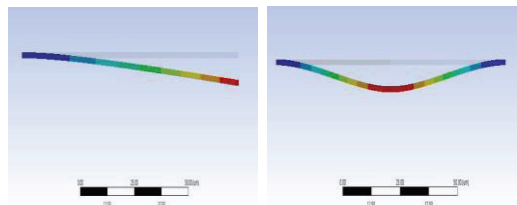


Fig. 2 First Bending Mode of Microcantilever and Microbridge

† 교신저자: 정희원, 서울시립대학교 기계정보공학과

E-mail : leesooil@uos.ac.kr

Tel : 02-6490-2393, Fax : 02-6490-2384

* 서울시립대학교 대학원

** 국민대학교 기계시스템공학부

Table 1 Material Properties of Microstructures

	SiN	Au	Dodecane thiol
Young's modulus(GPa)	100	70	12.9
Mass density(kg/m ³)	2,400	19,300	675
Thickness(nm)	1,000	50	10

를 구하였다. 마이크로캔틸레버의 경우 캔틸레버의 한쪽 끝을 고정단(fixed support)으로 구속시켰고 상단부에 인장력을 주어 표면응력이 작용하도록 하였으며 마이크로브릿지의 경우 양단고정 구조이기 때문에 양쪽 끝 모두를 고정단으로 하여 표면에 인장력 또는 압축력이 작용하는 경우에 대해 해석하였다.

Fig. 3과 Fig. 4는 유한요소해석을 통해 구한 공진주파수의 변화를 나타낸다. 먼저 Fig. 3에서는 표면응력에 따른 마이크로구조물의 첫 번째 굽힘 모드 공진주파수 민감도 변화를 나타내고 있는데 마이크로캔틸레버와 마이크로브릿지 모두 표면응력이 커질수록 민감도가 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 4에서는 마이크로구조물의 길이와 폭의 상대적 비율 L/b에 따른 첫 번째 굽힘 모드 공진주파수 민감도 변화를 나타내고 있는데 마이크로구조물의 길이가 상대적으로 길어질수록 고유진동수 민감도는 증가하는 것을 알 수 있다.

마이크로브릿지의 경우 표면에 인장력 또는 압축력이 작용하는 경우 모두 표면응력이 커질수록 공진주파수 민감도가 높아지며 인장력과 압축력이 각각 작용했을 때 공진주파수의 민감도 차이는 크지 않음을 알 수 있다.

3. 결 론

마이크로구조용 센서의 특성을 파악하여 설계에 이용하기 위해 유한요소해석을 이용하여 표면응력을 고려한 마이크로구조물의 고유진동수 변화와 그 민감도를 확인하였다. 그 결과 마이크로캔틸레버와 마이크로브릿지 구조 모두 표면응력이 증가할수록 공진주파수의 민감도가 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 마이크로구조의 길이와 폭의 상대적 비율에 대해서도 구조물의 길이가 상대적으로 길어질수록 고유진동수 민감도는 증가함을 알 수 있다.

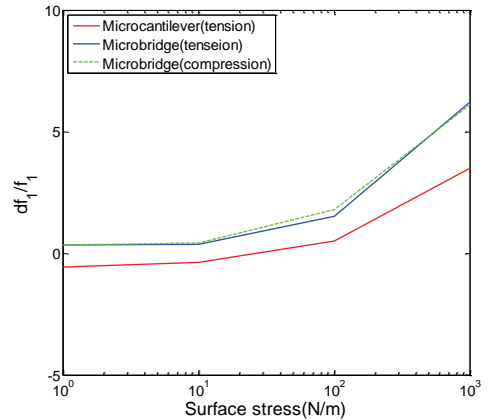


Fig. 3 Sensitivity of resonance frequency of microstructure according to surface stress (Red: Microcantilever-tension, Blue: Microbridge-tension, Green: Microbridge-compression,)

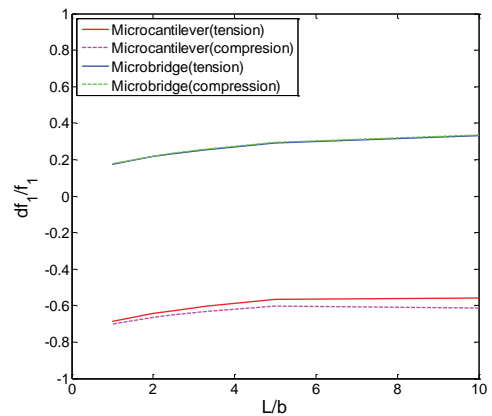


Fig. 4 Sensitivity of resonance frequency of microstructure according to aspect ratio (Red: Microcantilever-tension, Magenta: Microcantilever-compression, Blue: Microbridge-tension, Green: Microbridge-compression,)

참고문헌

- (1) Lee, S. I., Kang, S. W., 2011, "The Sensitivity of Resonance Frequency Due to Surface Stress Change in Micro-Structure", Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Annual Spring Conference.