

실리콘 기반의 aN 캔틸레버 개발 Development of atomic scale sensitivity cantilever using Silicon

*김대연, 박종성, #이동원

*D. Y. Kim, J. S. Park, #D. W. Lee(MEMS@jnu.ac.kr)

전남대학교 기계시스템공학과

Key words : MRFM, Sensitivity, Cantilever, Spring Constant, Quality Factor

1. 서론

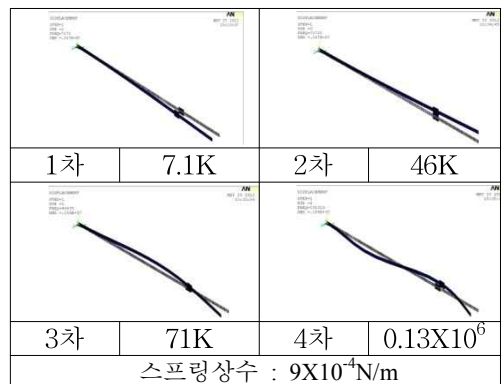
최근 마이크로/나노 제작 기술 및 관련 분야에 대한 기술이 발전함에 따라, 수 나노 급 영상 분석 장비에 대한 수요가 증대되고 있다. 그에 따른 영향을 받아 이를 위한 연구가 더욱 활발히 진행되고 있으며 세부적으로는 자연계에서 발생하는 생명 발생의 원리 및 원자 스케일의 분석을 위한 연구가 진행되고 있다. 현재는 캔틸레버를 이용한 수 나노미터의 높은 해상도를 갖는 자기 공명력 현미경 (Magnetic Resonance Force Microscope; MRFM)의 실시간 영상장비를 통하여 기존에 파악하지 못했던 공학적 원리를 알 수 있는 중요한 영상 장비로 활용되고 있다. 그러나 그것은 현재 세계적으로 단 1대만이 약 4nm해상도의 나노영상을 제한적으로 산출할 수 있는 실정이므로, sub-나노 해상도를 가질 수 있는 MRI 나노현미경의 신속한 개발이 연구 개발시장에 대한 새로운 시장을 개척할 수 있는 분야이다. 그 때문에 높은 민감도를 갖는 캔틸레버가 개발되어야 한다.

본 연구에서는 마이크로 머시닝 공정을 이용하여 저온(4K)에서 5aN의 열잡음 힘을 측정할 수 있는 초고감도 캔틸레버를 설계하고 제작하는 것을 목표로 한다. 고감도 캔틸레버를 제작하기 위한 소자를 유한요소법을 이용하여 최적화 하고, Quality factor값 100,000이상의 민감도를 낼 수 있는 계측 시스템 및 관련된 단위 요소 기술을 개발하였다.

2. aN 캔틸레버 설계

MRFM 캔틸레버 제작은 마이크로머시닝 공정을 이용하여 길이 400um, 폭 5um, 두께 500nm의 초 고감도 캔틸레버를 설계, 이 때 추정된 캔틸레버의 힘 민감도는 약 10aN 정도이며, 곡률 반경은

1.5um로 설계하였다. 설계된 캔틸레버의 스프링상수와 공진 특성은 Table 1과 같다.



1차	7.1K	2차	46K
3차	71K	4차	0.13X10 ⁶
스프링상수 : 9X10 ⁻⁴ N/m			

Table 1. Resonance frequency and spring constant data using Finite Element Analysis

3. 제작 및 특성평가

최적화된 디자인 및 공정 기술을 바탕으로 하여 민감도 5aN를 만족시킬 수 있는 고감도 캔틸레버를 제작하였다. Figure1은 캔틸레버 제작공정도이며, 제작된 캔틸레버는 Figure 2와 같다.

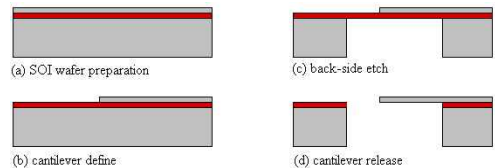


Figure 1. SIMOX wafer process flow chart

초고감도 캔틸레버의 평가는 실온(300K) 및 고진공(5X10⁻⁵Torr) 분위기의 챔버에서 캔틸레버의 기초적인 실험을 수행하였다. 1차 공진에 의한 주파수는 9,360Hz(Figure 3)으로 나타났으며, 이 때 얻어진 Quality factor값은 11,200, 힘 민감도는 0.462fN으로 예측되었다.

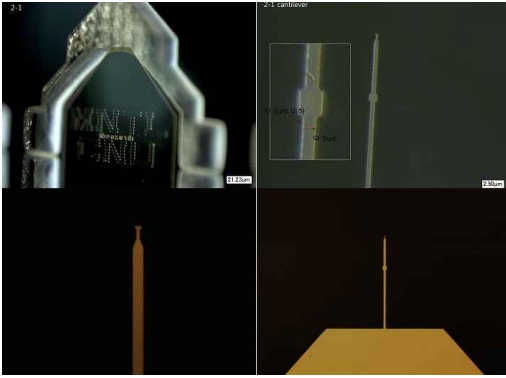


Figure 2. Ultra-high sensitivity cantilever using micro machining process

추가적으로, 캔틸레버의 표면처리 및 저온 공정을 실시하여 힘 민감도 및 Quality factor값에 대한 향상에 관한 평가를 진행하였다.(Figure 4 참조)

1st flexural mode frequency [Hz]	9,360
quality factor	11,200
$\langle x^2 \rangle$ [nm]	3.06
spring constant [N/m]	0.00135
force sensitivity (1 Hz BW) [fN]	0.462

Table 2. Physical quantity measurement of cantilever KBSI-Cheonam_0152(High vacuum, room temperature)

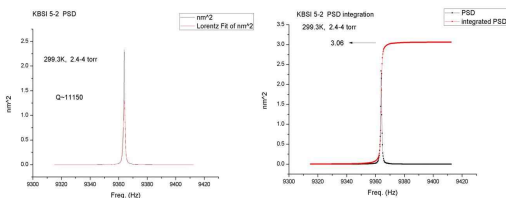


Figure 3. Power spectral density of position noise(left), and PSD integration(right) of manufactured cantilever

4. 결론

높은 민감도를 얻기 위해 극저온(4K), 고진공 및 표면 처리된 고감도 캔틸레버를 이용, Quality factor 값을 최대로 끌어올리며, 이를 위해서는 잘

제어된 Chamber가 필요, 캔틸레버의 청결도의 최적화 역시 요구된다. 고감도 캔틸레버의 경우 두께가 300nm~500nm로 제어되어 있어, 충격에 의해 파손이 쉽기 때문에 이를 세정할 수 있는 공정으로 HF를 가열하여 건식방법으로 실리콘 산화막을 제거하는 기초 실험 및 실험 장치를 개발하여 깨지기 쉬운 실리콘 산화막을 효과적으로 제거에 성공하였고, 이러한 연구 결과를 이용하여 보다 높은 민감도를 갖는 고감도 캔틸레버를 형성할 수 있었다. 건식 HF처리를 통해 제작 공정중 캔틸레버가 측면에 붙는 sticktion effect를 최소화 할 수 있으며, 이는 공정 수율을 극대화 할 수 있는 공정 기법이다.

본 연구는 마이크로/나노 머시닝 기술의 응용범위를 확대함과 동시에 고감도 캔틸레버를 이용한 다양한 응용이 가능함을 입증하여 국내에서 새로운 MRFM기술 기반을 확립할 수 있는 획기적인 시도를 가능하게 한다.

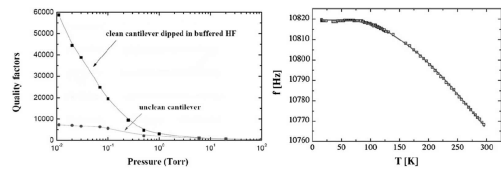


Figure 4. Surface treatment comparison before and after(left), resonance frequency change following cantilever ambient temperature

후기

이 논문은 2012년도 교육과학기술부의 재원으로 한국기초과학지원연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임

참고문헌

1. D. W. Lee, et. al., "Fabrication and evaluation of single-crystal silicon cantilevers with ultra-low spring constants", Journal of Micromechanics and Microengineering, **15(11)**, 2179-2183, 2005.
2. D. W. Lee, et. al., "Switchable cantilever fabrication for a novel time-of-flight scanning force microscope", Microelectronic Engineering, **67-68**, 635-643, 2007.