



문의 : 담당자 연락처(02-880-6600)
 연구책임자 제원호 교수(02-880-6600) / 교신저자
 안상민 연구조교수(02-880-4392) / 제1저자, 교신저자
 김봉수, 권소영, 문걸, 이만희 / 공동저자
 과학기술정보통신부, 교육과학기술부/한국연구재단 지원 나노액체연구단

물리천문학부 제원호/안상민 교수 연구팀

휘어진 탐침의 쌍갈림 현상에 의한 초감도 미세진동 측정

Proc. Natl. Acad. Sci. USA 에 논문 출판 (2018. 3. 5.)

□ 내용

기계적 힘센서에 있어 가장 중요한 요인은 측정 민감도라고 할 수 있다. 민감도를 증가시키기 위해 생체모사, 미소 전자 기계 시스템 (MEMS) 등의 방식을 이용하여 구현하고자 노력해왔다. 특히, 더핑(Duffing) 공진과 같은 비선형 현상을 이용한 민감도 증가에 관한 연구를 진행해 왔으나, 주어진 힘에 의한 일회적 전이현상이나 센서의 측정 민감도 제한, 측정된 힘의 방향성을 분석 한계 등을 지니고 있었다.

서울대 물리천문학부 제원호/안상민 교수 연구팀은 자체 개발한 수정진동자 기반 원자힘 현미경과 기계적 당김장치를 이용해 제작된 수정 탐침이 혼용된 계를 이용하여 탐침 끝을 표면에 고정/버클링시키고, 측면으로 움직일 경우 발생하는 분기점에서의 잡음 증대 및 비선형 현상을 이용하여 **고민감도 힘측정 센서로 응용을 실증**하였다. 보통의 선형 센서의 특성과는 다르게 **분기점(bifurcation point)에 도달할 경우 매우 급격히 증가하는 현상을 발견**하였고, 이 상태에서 외부에서 주어지는 매우 작은 힘, 즉 진원지로부터 오는 수직이나 수평으로 흔들리는 각각의 초기 섭동을 **고민감도, 재현성, 내구성을 유지한 채 정확히 구별하여 측정**하였다.

본 연구는 지진계 센서와 같은 실제적인 응용에의 기여뿐만 아니라 분기점에서의 비선형 현상의 새로운 모델로서 심도 깊은 연구 자원을 제공할 것으로 예측된다. 이 연구는 과학기술정보통신부, 교육과학기술부/한국연구재단의 리더연구자 과제 프로그램의 지원으로 이뤄졌다.

[붙임] 1. 연구결과 2. 용어설명 3. 그림설명 4. 연구진 이력사항

연구 결과 및 의의

본 연구팀은 자체 개발한 수정진동자와 기계적으로 가늘게 뽑혀진 수정 탐침이 혼용된 원자힘 현미경을 이용하여 탐침 끝이 표면에 고정/버클링된 상태에서의 비선형 현상에 관한 연구 및 고민감도 기계적 힘 측정 센서로의 응용을 실증하였다.

팁을 표면에 접근/고정/버클링시킨 후 측면으로 움직일 경우, 버클링 팁이 반대 방향으로 뒤집어지기 바로 직전에서의 잡음 증대 및 분기 현상과 그 상태에서 가해지는 외부 섭동에 대한 급격한 민감도 증폭 현상을 발견하였다. 보통의 선형 센서의 특성과는 다르게 분기점에 도달할 경우에만 민감도가 급격히 증가되었고, 진원지로부터 오는 수직이나 수평으로 흔들리는 극미량의 초기 섭동 파동을 고민감도, 재현성, 내구성을 유지한 채로 정확히 구별하여 측정하였다.

또한, 수정진동자와 탐침이 결합된 이론 모델을 제시하였고, 측면으로 움직이는 속도에 따른 비선형 현상을 분석하였다. 본 연구는 지진계 센서와 같은 실제적인 응용에의 기여할 뿐만 아니라 분기점에서의 비선형 현상의 새로운 연구 주제로의 의의가 있다.

용 어 설 명

1. 버클링 탐침 (Buckling tip)

-수정 막대 끝을 매우 뾰족하게 탐침 형태로 제작하여 이를 수정진동자의 한쪽 다리에 붙여 센서 팁을 만들고, 이를 표면에 접근시켜 고정 및 끝이 좌굴(buckling, 휘어짐)된 상태로 만들 수 있다.

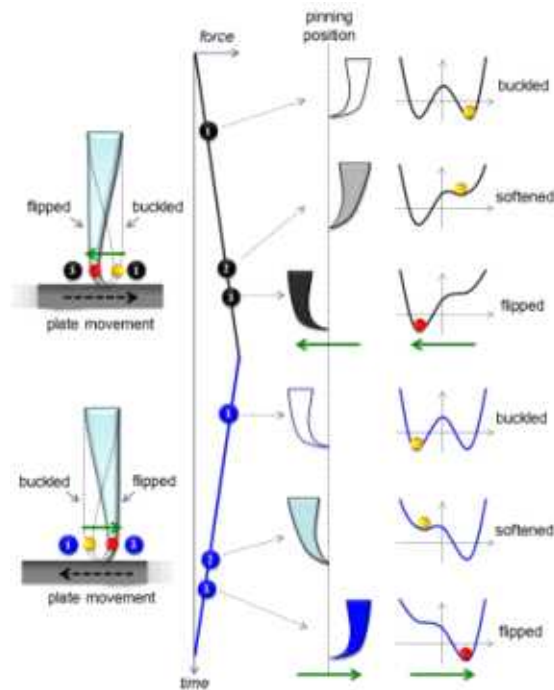
2. 분기점 (Bifurcation point)

-버클링된 탐침을 측면으로 움직이면 반대쪽으로 팁이 뒤짚히기 이전에 측정되는 센서의 신호의 잡음이 증폭되는 영역이 발생하는데, 이 위치를 분기점으로 지정하였다.

3. 힘센서 (Force sensor)

-수정진동자의 동역학적 이론 모델을 기반으로 외부 섭동의 탄성힘과 감쇄힘을 각각 구분할 수 있을 뿐만 아니라 신호의 주파수 분석을 통하여 힘의 방향이 수평 혹은 수직으로 발생한 것인지를 구별해낼 수 있다.

그림 설명



최초 팁을 표면에 접근시켜 눌러주면 탐침을 버클링 상태로 만들 수 있고, 이 상태를 안정적인 더블웰 포텐셜로 정의될 수 있다. 그 후, 표면을 이용하여 측면으로 움직일 경우에 팁이 연화(softening)되는 과정을 겪게 되고, 이때 센서 신호의 잡음이 증가되는 영역, 즉 분기점이 발생하는 불안정한 에너지 상태에 놓이게 되고 고민감도를 지니게 된다. 최종적으로 더블웰 포텐셜 에너지 장벽을 넘어서는 구간을 지나면 버클링 팁이 반대편으로 뒤집어(flipping)지게 되고 새로운 안정 상태를 유지하게 된다.

<출판 논문>

Sangmin An, Bongsu Kim, Soyoung Kwon, Geol Moon, Manhee Lee, Wonho Jhe,
 “Bifurcation-enhanced ultrahigh sensitivity of a buckled cantilever”,
Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (Mar. 5,
 2018)

연구책임자 이력사항 <제원호 교수>

1. 인적사항

- 소 속 : 서울대학교 자연과학대학 물리천문학부 교수
- 전 화 : 02-880-6600
- E-mail : whjhe@snu.ac.kr



2. 학력

- 1978.03-1982.02 서울대학교 물리학 학사
- 1982.03-1984.02 서울대학교 물리학 석사
- 1984.09-1989.05 미국 Yale 대학교 물리학 박사

3. 경력사항

1992 ~ present	서울대학교 물리천문학부	교수
1989 ~ 1992	Havard 대학교 박사후연구원	연구원
1997 ~ 2005	과학기술부 근접장광기술 창의연구단	단장
2007 ~ 2011	과학기술부/연구재단 나노액체연구 도약연구단	단장
2012. 10	미국 물리학회	석학회원 (Fellow)
2006. 10	제51회 대한민국 학술원상(자연과학부문)	수상
2007. 6	국가연구개발 우수성과 100선(과학기술부)	수상
2006. 8	국가 최고 연구성과 50선(한국과학재단)	수상
2013. 2	성도광과학상(한국광학회)	수상
2015. 9	서울대학교 자연과학대학 우수강의상	수상
2013~현재	서울대학교 자연과학대학 응용물리연구소	소장
2015~현재	Scientific Reports (Nature Pub. Gr.)	Editorial Board
2016. 7	제25회 국제원자물리학회 조직위원장(코엑스, 2016)	위원장

4. 기타 정보

제1저자 공동연구원 안상민 연구조교수, 현재 서울대학교 물리천문학부 연구조교수 (지도교수: 제원호)
 공저자 공동연구원 김봉수 연구원, 현재 미국 UC Irvine 박사후연구원 (지도교수: 제원호)
 공저자 공동연구원 권소영 연구원, 현재 한국과학기술기획평가원 부연구위원 (지도교수: 제원호)
 공저자 공동연구원 문걸 교수, 현재 전남대학교 물리학과 조교수 (지도교수: 제원호)
 공저자 공동연구원 이만희 교수, 현재 충북대학교 물리학과 조교수 (지도교수: 제원호)

*과학기술정보통신부, 교육과학기술부/한국연구재단 지원 나노액체연구단 소속 연구원들임.