

▲ 전류 펄스를 이용한 빛 펄스 비행시간(time-of-flight, TOF) 측정 기술의 개념도

KAIST, 초고속, 초정밀 펄스비행시간(TOF) 센서 개발

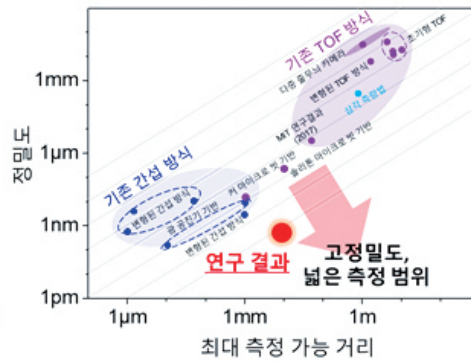
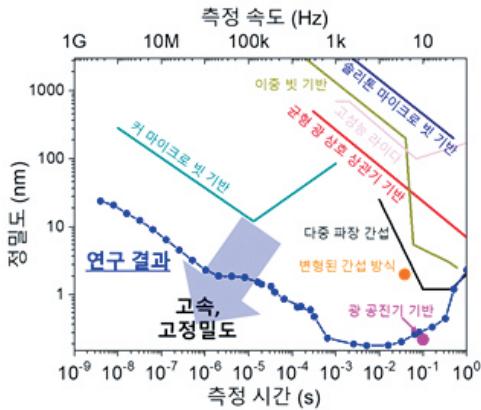
KAIST 기계공학과 김정원 교수 연구팀이 펄스 레이저와 전광 샘플링 기법을 이용해 거리 측정에 활용할 수 있는 초고속, 초정밀의 펄스비행시간(time-of-flight, TOF) 센서 기술을 개발했다.

이 새로운 펄스비행시간 센서 기술을 이용하면 수소 원자 2개의 크기보다도 작은 180 피코미터(55억분의 1미터) 정도의 위치 차이도 200분의 1초 만에 정확하게 측정할 수 있다. 기존 고성능 거리 측정 기술의 성능을 뛰어넘는 새로운 원천 기술이 될 것으로 기대된다.

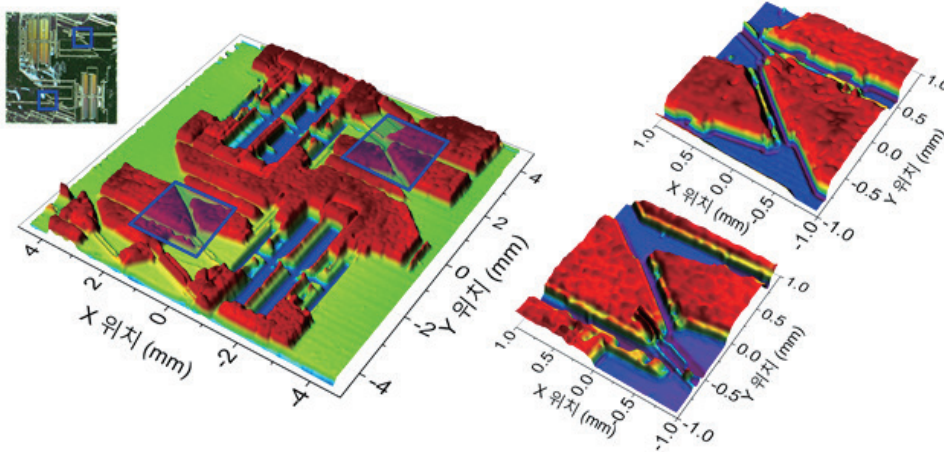
레이저를 이용한 거리 측정 기술은 현재 보안, 자율주행 등에 사용되는 라이다(LiDAR)나 반도체 공정 등 각종 산업 분야뿐 아니라, 지진 감지, 중력파 검출 등 자연 현상 탐지까지 다양한 분야의 핵심 기술로 활용된다. 거리 측정의 분해능, 속도 및 범위 성능이 개선되면 기존 응용기술들의 성능 개선뿐 아니라 이전에는 불가능

했었던 새로운 물리 현상들의 측정도 가능하게 한다.

기존의 고성능 거리 측정 기술들은 크게 두 가지 방식으로 나뉜다. 기존의 펄스비행시간 기술은 미터 이상의 긴 측정 거리를 갖지만 그만큼 분해능 성능이 떨어지는 문제가 있다. 반면 간섭계 기술은 나노미터 수준의 좋은 분해능을 갖지만, 마이크로미터 수준의 좁은 측정 범위를 갖는다. 또한, 두 기술 모두 측정 속도가 느리다는 공통적인 한계가 있다. 연구팀은 이러한 한계들을 극복하기 위해 기존의 방식들과는 완전히 다른 방식의 펄스비행시간 센서를 제안했다. 펄스 레이저에서 발생한 빛 펄스와 광다이오드로 생성한 전류 펄스 사이의 시간 차이를 전광 샘플링 기법



▲ 기존의 최고성능(state-of-the-art) 거리 및 변위 측정 기술들과의 성능 비교



▲ MEMS 소자 표면의 3차원 이미징 결과

용해 측정했다. 이때 빛 펄스와 전류 펄스 간의 시간 오차가 100 아토초(1경분의 1초) 정도로 매우 적어, 빠른 속도로 나노미터 이하의 거리 차이도 정밀하게 측정할 수 있다.

또한, 전류 펄스의 길이가 수십 피코초 이상으로 길어 밀리미터 이상의 측정 범위가 동시에 가능하다. 따라서 기존의 펄스비행시간 기술이 갖는 낮은 분해능과 간섭계 기술이 가지는 좁은 측정 범위의 한계를 동시에 뛰어넘을 수 있었다. 연구팀은 새로운 펄스비행시간 기술을 이용해 고분해능 3차원 형상 이미징 기술을 시연했고, 지진파나 화산 활동 측정과 같이 미세한 변형을 측정하는 데 활용할 수 있는 고정밀 변형률 센서도 구현했다. 또한, 초고속 측정에서도 높은 분해능을 갖는다는 장점을 이용해 100MHz(1초에 1억 번의 진동에 해당) 이상의 속도로 변화하는 물체의 위치도 나노미터 분해능으로 실시간 측정 가능함을 선보였다. 연구팀은 특히 서로 멀리 떨어져 있는 다수 지점의 펄스비행시간을 동시에 정밀하게 측정할 수 있는 특징을 활용하면 스마트팩토리와 같은 환경에서 하나의 레이저와 광섬유 링크들을 이용해 다지점, 다기능성 복합센서 시스템을 구현할 수 있다고 전망했다. 김 교수는 “이 기술을 이용해 기존에는 관측하지 못했던 마이크로 소자 내에서의 비선형적인 움직임과 같은 복잡하고 빠른 동적 현상들을 실시간으로 측정하고 규명하는 것이 다음 연구 목표이다”라고 말했다. 나용진 박사과정 학생이 1 저자로 참여한 이번 연구 결과는 국제학술지 ‘네이처 포토닉스(Nature Photonics)’ 2월 10일 자에 게재됐다.