

테라헤르츠 근접장 현미경을 이용한 나노크기 바이오분자의 이미징

Imaging of Nano-Sized Biomolecules Using Terahertz Near-Field Microscopy

김정희, 박홍규, 한연호, 정은아, 문기원, 한해욱
POSTECH 전자컴퓨터공학과
hhan@postech.ac.kr

실생활에 사용되는 휴대전화나 컴퓨터 등의 전자제품의 소형화와 고집적화로 인하여, 내장되는 전자소자 및 바이오 소자의 구조가 나노미터 크기에서 구현되고 있다. 이러한 나노 크기의 반도체 소자들의 carrier transition이나 바이오분자들의 진동 모드 및 구조 변화에 따른 특성을 측정하기 위한 방법으로 테라헤르츠(terahertz; THz) 기술이 많은 관심을 받고 있다. 대표적인 기술로는 테라헤르츠 시영역 분광법(THz time-domain spectroscopy; THz-TDS)이 있으며, 이 기술을 적용하여 물질이나 수동소자의 특성, 바이오 시료의 이미징 등 여러 분야에서 전 세계적으로 활발히 연구가 진행되고 있다⁽¹⁻²⁾. 하지만 일반적인 THz-TDS를 이용한 이미징의 경우 파장과 연관된 회절 한계로 인하여 분해능이 제한을 받게 된다. 이러한 회절 한계를 극복하고 나노미터(nanometer; nm)의 분해능으로 시료를 이미징할 수 있는 기술이 근접장 현미경(near-field microscopy; NFM)이다⁽³⁻⁷⁾. 근접장을 이용한 기술은 입사파의 파장에 비해 매우 작은 영역에서 발생하는 근접장을 측정하기 때문에 결과적인 이미지의 분해능이 파장보다는 사용되는 탐침에 의해 결정되고, 보다 우수한 분해능을 실현하기 위해서 무공(apertureless) 탐침이 사용되고 있다. 최근에 80 nm의 분해능을 갖는 THz NFM 시스템이 보고된 바 있다⁽³⁾. 본 연구에서는 THz NFM을 이용하여 나노크기로 만들어진 바이오분자에 대한 이미징을 수행하였다.

테라헤르츠 근접장 현미경(THz NFM)은 일반적인 THz-TDS와 원자현미경(atomic force microscopy; AFM) 기술을 접목시킨 시스템으로, 시료의 topology뿐 아니라 테라헤르츠 근접장에 대한 분광 특성을 동시에 측정할 수 있다^(3, 5-7). 측정원리는 다음과 같다. 수 나노미터 정도로 가까이에 놓인 시료와 금속 탐침 사이에 입사된 테라헤르츠 파가 근접장을 형성하고, 형성된 근접장은 탐침에 의해 산란된다. 시료에서 반사되는 반사파에 비해 매우 미약한 산란 신호를 측정하기 위해서 탐침을 시료 표면에 수직방향으로 진동시키고, 탐침의 진동에 의해 변조된 근접장 신호를 lock-in 측정법으로 검출할 수 있다.

바이오분자 시료는 GaAs 기판에 증착된 두꺼운 Au 층 위에 수 백 나노미터 크기의 입자들을 불규칙적으로 분포를 시킴으로서 만들어 졌고, 측정에 사용된 나노 탐침은 전기화학적 식각 방법으로 제작되었다. 탐침은 시료 표면에 수직방향으로 진동할 수 있도록 수정진동자의 한 다리의 축방향에 평행하도록 접착체에 의해 고정되었다. 탐침이 시료 표면에 접근함에 따라 공진주파수에서 동작하는 수정진동자의 진폭, 위상, 공진주파수가 변화하게 된다. 본 연구에서는 탐침과 시료의 거리를 조절하기 위한 나노스테이지를 제어하는 피드백 파라미터로 진폭의 크기를 사용하였다. 실험에 사용된 THz NFM 시스템과 AFM의 개략도를 그림 1에 도시하였다. 펄스 레이저에 의해 InAs 표면에서 발생된 테라헤르츠 파가 parabolic

거울을 이용하여 탐침과 시료 사이에 모아지고, 산란된 근접장과 반사된 반사파가 parabolic 거울에 의해 광전도 안테나로 집속된 후 lock-in amplifier에 의해 산란된 테라헤르츠 신호만 측정된다. 이 때, 탐침과 시료 사이의 거리는 수 나노미터로 일정하게 유지되고, 나노스테이지에 인가되는 제어신호로부터 AFM 이미지가 얻어진다.

Au 표면에서 측정된 테라헤르츠 신호가 나노크기의 바이오분자에서 측정된 테라헤르츠 신호보다 크게 측정되었는데, 이는 산란되는 테라헤르츠 신호가 시료에서 여기되는 쌍극자 모멘트의 크기에 영향을 받기 때문이다. 나노크기의 바이오분자에서 얻어진 스펙트럼은 덩어리(bulk) 환약(pellet)에서 측정된 스펙트럼과 다른 특성을 나타내었다. 또한, delay line을 한 위치에 고정하고, 탐침-시료 거리를 일정하게 유지하면서 시료 위를 스캔하여 바이오분자에 대한 테라헤르츠 근접장 이미지를 얻었다. 결론적으로 THz NFM이 개개의 바이오 나노 입자의 산란 스펙트럼과 근접장 이미지를 측정할 수 있음을 보였다.

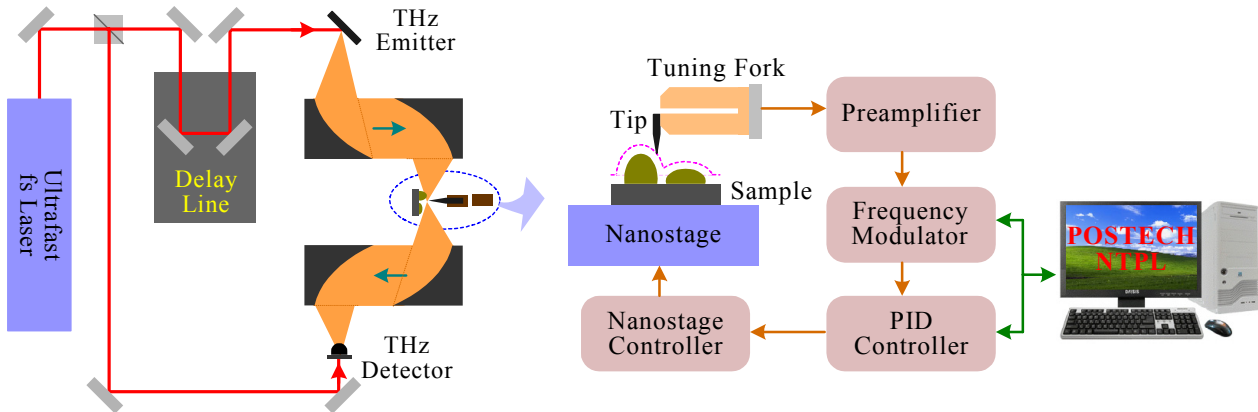


그림 1. 전체적인 THz NFM(좌)과 AFM(우) 실험장치에 대한 개략도

1. H. Han, H. Park, M. Cho, and J. Kim, "Terahertz pulse propagation in a plastic photonic crystal fiber," *Appl. Phys. Lett.*, 80, 2634-2636 (2002).
2. A. J. Fitzgerald, V. P. Wallace, M. Jimenez-Linan, L. Bobrow, R. J. Pye, A. D. Purushotham, and D. D. Arnone, "Terahertz pulsed imaging of human breast tumors," *Radiology*, 239, 533-540 (2006).
3. H. Park, J. Kim, M. Kim, H. Han, and I. Park, "Terahertz near-field microscope," *Dig. 31th IRMMW-14th THz 2006*, pp. 13 (2006).
4. F. Buergens, G. Acuna, C. H. Lang, S. I. Potrebic, S. Manus, and R. Kersting, "Shear force control for a terahertz near field microscope," *Rev. Sci. Instrum.*, 78, 113701 (2007).
5. K. Wang, D. M. Mittleman, N. C. J. van der Valk, and P. C. M. Planken, "Antenna effects in terahertz apertureless near-field optical microscopy," *Appl. Phys. Lett.*, 85, 2715-2717 (2004).
6. H. G. von Ribbeck, M. Brehm, D. W. van der Weide, S. Winnerl, O. Drachenko, M. Helm, and F. Keilmann, "Spectroscopic THz near-field microscope," *Opt. Express*, 16, 3430-3438 (2008).
7. A. J. L. Adam, J. M. Brok, M. A. Seo, K. J. Ahn, D. S. Kim, J. H. Kang, Q. H. Park, M. Nagel, and P. C. M. Planken, "Advanced terahertz electric near-field measurements at sub-wavelength diameter metallic apertures," *Opt. Express*, 16, 7407-7417 (2008).