

나노미터 분해능을 갖는 테라헤르츠 근접장 현미경

박홍규, 김정희*, 이경인, 한해욱**
포항공과대학교 나노테라 포토닉스 연구실

THz near-field microscope with nanometer resolution

Hongkyu Park, Jeonghoi Kim*, Kyungin Lee, Haewook Han**

NanoTeraHz Photonics Lab

Pohang University of Technology and Science

E-mail : *hanulkjh@postech.ac.kr, **hhan@postech.ac.kr

Abstract

A THz near-field microscope(THz NFM) is developed by a combination of THz time-domain spectroscopy and AFM(Atomic Force Microscopy). We have observed 80nm lateral resolution, demonstrating that the THz NFM technique has a great potential as a important probing tool for the analysis of the biological and semiconductor nanostructures.

I. 서론

테라헤르츠파는 0.1~10 THz 의 주파수를 갖는 전자파로서 이를 이용한 측정 기술로는 테라헤르츠 시영역 분광학이 주요한 관심의 대상이 되고 있다. 테라헤르츠 시영역 분광학은 시료에 테라헤르츠파를 입사시켜 투과되거나 반사되는 신호를 시간영역에서 측정하여 시료의 특성을 분석하는 기술로서 테라헤르츠파를 시료에 입사시키는데 광학적인 방법을 이용하게 되고 회절한계로 인한 분해능의 이론적인 한계를 갖게 된다. 따라서 수백 나노미터 이하의 크기를 갖는 반도체 나노구조 및 다양한 미세구조에 대해서는 테라헤르츠 시영역 분광학 기술을 사용하여 시료의 특성에 대한 자료를 얻기가 불가능하게 된다.

수백나노미터의 나노구조 및 미세구조의 분석이 가능하려면 나노미터 수준의 분해능이 구현되어야 하며

이를 위해 테라헤르츠 근접장 현미경 기술이 제안되었다. 테라헤르츠 근접장 현미경 기술은 나노미터의 분해능 구현이 가능한 AFM (Atomic Force Microscopy) 기술을 바탕으로 테라헤르츠 시영역 분광학 기술을 접목하여 나노구조 및 미세구조를 갖는 시료의 지형도를 나노미터의 분해능으로 측정이 가능하고 동시에 테라헤르츠 영역에서 시료의 특성을 측정할 수 있는 기술로서 이미 이 기술을 응용하여 시료를 측정하여 150 nm 의 측면 분해능을 구현한 결과도 보고된 바 있다[1].

본 논문에서는 테라헤르츠 근접장 현미경기술을 이용하여 80 nm 의 측면 분해능을 구현한 연구 결과에 대해서 발표할 것이다.

II. 실험방법

테라헤르츠 근접장 현미경 실험장치는 테라헤르츠 시영역 분광학의 실험 장치와 동일하며 AFM 기술을 응용할 수 있도록 시료와 탐침을 추가하여 구성된다. 테라헤르츠 광원으로는 InAs 웨이퍼를 사용하였으며 펄스 초 Ti:Sapphire 레이저를 직경 3 mm 정도가 되고 45°의 입사각을 갖도록 InAs 에 입사시켰다. 이렇게 발생된 테라헤르츠파를 측정하고자 하는 시료와 탐침 구조에 60°의 입사각도를 갖고 직경이 500 μm 가 되도록 입사시켰다. 측정에 사용된 시료는 GaAs 위에 35 nm의 두께를 갖는 금속 박막을 이용하였다. 탐침은 텅스텐을 이용하여 정점의 지름이 50 nm이고 길이는 1.5 mm를 갖도록 전기화학적 식각 방법을 이용하여 제작되었다.

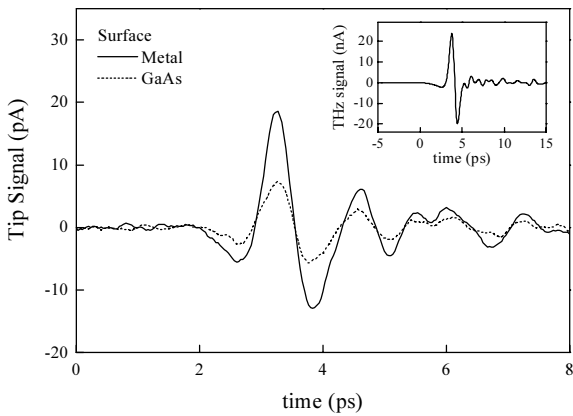


그림 1 측정된 탐침 신호 (실선 : 금속 표면에서 측정된 탐침 신호, 점선 : GaAs 표면에서 측정된 탐침 신호)

이렇게 제작된 탐침을 진동자에 고정하여 tapping-mode 를 이용하여 테라헤르츠 근접장 신호를 측정하였으며 시료와 탐침 사이의 거리는 20 nm 정도를 유지하도록 하였다. 시료와 탐침 구조에 입사된 테라헤르츠파는 탐침 주변에 형성된 테라헤르츠 근접장의 산란에 의해서 탐침 신호를 발생시키게 되고 발생된 탐침 신호는 광전도 안테나를 이용하여 측정하였다. 이 때 광전도 안테나로 측정되는 신호는 시료의 표면에서 반사되는 신호와 탐침 신호가 동시에 측정되게 되는데 탐침의 공진 주파수로 신호를 동조해서 측정하게 되면 순수하게 탐침에 의해서 생기는 탐침 신호만을 측정할 수 있다.

III. 실험결과

탐침 신호는 시료의 종류, 탐침의 종류 그리고 시료와 탐침 사이의 거리에 의해서 결정이 된다. 본 실험에서는 하나의 탐침으로 시료와 탐침의 거리를 일정하게 유지하면서 시료의 표면에 대한 정보를 수집하였다.

그림 1 은 금속과 GaAs 표면에서 측정된 시간 영역에서의 탐침신호를 보여준다. 첨부된 그림은 시료와 탐침 구조에 입사되는 테라헤르츠파 신호이다. 시료의 종류에 따라서 탐침 신호가 달라지는 것을 알 수 있는데 이는 시료가 금속인 경우에는 유도되는 이미지 쌍극자의 크기가 GaAs 인 경우에 비해서 커지게 되므로 탐침 신호의 크기가 크게 측정되었다.

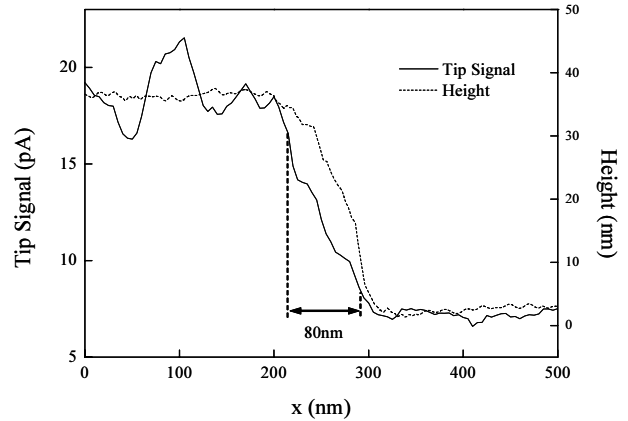


그림 2 THz NFM 과 AFM 결과 (실선 : THz NFM, 점선 : AFM)

그림 2 는 시료의 일차원 구조에 대해서 측정된 결과를 보여준다. AFM 결과를 보면 금속 박막의 두께가 35nm 인 것을 확인할 수 있고, AFM 이나 테라헤르츠 근접장 현미경의 두 경우 모두 80nm 의 측면 분해능을 갖는다는 것을 보여준다.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

테라헤르츠 근접장 현미경을 이용하여 금속박막 계단 구조를 갖는 샘플에 대하여 80nm 의 측면 분해능을 갖는다는 것을 실험적으로 보였다.

향후 테라헤르츠 근접장 현미경의 측면 해상도를 수 나노미터 수준으로 향상시키고 탐침 신호를 물리적으로 해석하여 테라헤르츠 대역에서 시료의 특성을 분석할 수 있도록 지속적인 연구를 수행할 것이다.

참고문헌

- [1] H-T Chen, et al, "Terahertz imaging with nanometer resolution", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 83, no. 15, pp. 3009-3011, 2003.