

수치해석을 이용한 THz NSOM 가로 해상도 해석

Analyze a lateral resolution of THz NSOM with a numerical model

이경인, 윤석호*, 박홍규, 김정희, 한해욱

포항공과대학교 전자전기공학과 나노테라 포토닉스 연구실, *The Pennsylvania State University
kilee@postech.ac.kr

I. 서 론

마이크로파와 광파 사이에 존재하는 테라헤르쯔파(0.1 ~ 10 THz)는 유전체에 대한 투과성과 생물학적 특성이 좋아 물질의 영상화에 많은 이점을 가지고 있다. 하지만 테라헤르쯔 전자기파가 가지는 많은 이점에도 불구하고 파장(1 THz = 300 μm)에 따른 회절 한계로 인하여 고해상도의 이미지를 구현하는데 한계가 있었다. 이러한 해상도의 제한을 극복하기 위한 THz NSOM(THz near-field scanning optical microscopy)기술은 파장보다 작은 해상도를 가지며 근접장을 관찰하는데 도움을 주었다. 최근 나노 탐침을 이용한 THz NSOM 기술은 수백 마이크로미터의 파장 때문에 생기는 회절 한계를 극복하고 수십 마이크로미터에서 수백 나노 미터까지의 해상도를 구현하였다. 이러한 발전을 통해 최근 잘 알려지지 않았던 테라헤르쯔 영역에서 NSOM 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 테라헤르쯔는 바이오 기술에서 단백질과 리간드의 결합 에너지 준위가 테라헤르쯔 주파수 범위를 포함하고 있기 때문에 THz NSOM 기술은 미래에 나노 및 바이오 기술에서 중요한 도구가 될 것이다.

본 논문은 THz NSOM 기술 중에서 특히 emission-type THz NSOM에서의 중요한 금속 탐침과 반도체 시료간의 상호 메커니즘을 이용해 금속 탐침의 가로 해상도(lateral resolution)를 상용 수치해석 프로그램인 CST MWS(CST microwave studio)를 이용하여 수치해석 한 결과에 관한 것이다.

II. 수치해석 모델링

Emission-type THz NSOM은 극단파장 레이저 펄스를 III-V족 반도체 물질의 표면에 입사시켜 쌍극자를 발생시킨다. 표면에 유도된 쌍극자는 substrate THz wave와 tip - dipole coupled THz wave를 방사시킨다⁽¹⁾.

방사된 dipole coupling field는 공기와 반도체 표면 사이의 전반사로 인해 표면 밖으로 빠져 나오기 힘들기 때문에 안테나의 구조로 설계된 금속 탐침을 이용하여 탐침과 쌍극자 사이의 coupling field에 안테나 효과를 더해 주었다. 이러한 효과를 수치해석하기 위해 입사하는 빔에 의해 생기는 쌍극자의 분포를 하나의 무한소 쌍극자로 근사화하였다⁽²⁾. 그리고 수치해석에 사용되는 구조에서 금속 탐침은 길이가 150 μm 인 PEC로, 반도체 시료는 GaAs($n = 3.6$)로 정의하였다. 또한 무한소 쌍극자는 파장보다 매우 작은 10 nm 크기의 전류원으로 0 ~ 2 THz의 가우시안 펄스를 여기시켰다. 다음으로 쌍극자와 금속 탐침 사이의 가로 해상도를 구하기 위해 그림 1과 같이 탐침을 가로 방향으로 10 nm씩 이동시켜

각각의 경우에 대하여 수치해석을 하였다.

III. 수치해석 결과 및 해석

금속 탐침의 유한한 크기로 인한 안테나 효과는 탐침과 쌍극자간의 coupling field를 증가시켜 전기장의 원장에 영향을 준다. 금속 탐침이 이동함에 따라서 각 위치에서의 원장은 탐침과 무한소 쌍극자 사이의 거리가 작을수록 증가되었다.

위의 결과를 이용해 그림 2에서와 같이 탐침의 이동거리(d)에 따른 상대적 크기를 비교하여 FWHM(full width at half maximum)를 정의하면 금속 탐침의 가로 해상도가 거의 80 nm가 되는 것을 알 수 있었다.

IV. 결론

금속 탐침의 유한한 크기로 인한 안테나 효과는 금속 탐침과 쌍극자 사이의 결합 신호를 증가시켜 원장의 형태에 영향을 주었다. 또한 탐침과 쌍극자간의 거리에 따른 원장의 변화를 통해 금속 탐침의 이동에 따른 FWHM에서의 가로 해상도가 거의 80 nm가 되는 것을 확인할 수 있었다. 금속 탐침과 쌍극자 사이의 coupling field에 안테나 효과를 더하여 무한소 쌍극자에 대한 금속 탐침의 가로 해상도를 확인한 이번 수치해석은 THz NSOM 분야에서 매우 의미 있는 일이라 하겠다.

참고문헌

1. T. Kobayashi et al, Ultrafast Phenomena XIV , Springer, pp. 759-761, 2005
2. H. park et al, Nanometer-Scale THz Near-Field Microscope, The 5th International Workshop on Semiconductor Quantum Structures 2004, 2004

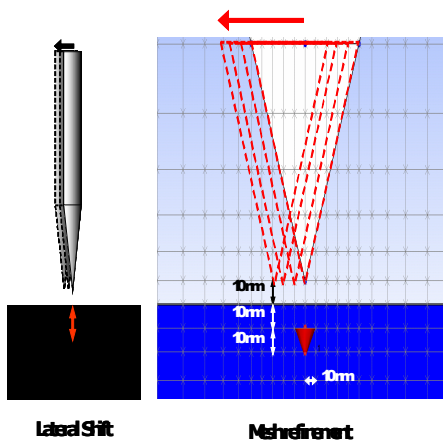


그림 1. 금속 탐침의 이동과 mesh refinement

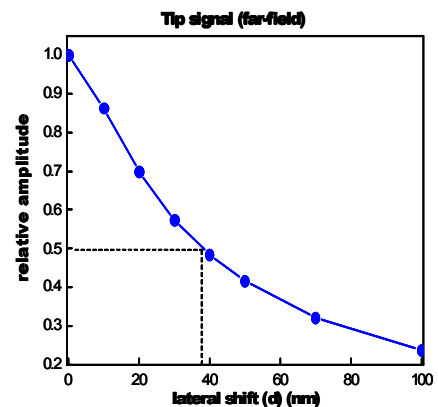


그림 2. FWHM에서의 lateral resolution