

나노 탐침 슬라이드에 대한 FDTD 시뮬레이션

FDTD Simulation of Integrated Nano-probe Slide

채규민, 이현호, 임상엽, 박승한
연세대학교 물리학과
valor@phya.yonsei.ac.kr

근접장 광학 현미경에 사용되는 다양한 탐침 중 가장 널리 사용되는 근접장 탐침은 잡아끌거나 식각하는 방식으로 침단부를 뾰족하게 한 후 수십 내지 수백 나노미터 직경의 개구 만을 남겨두고 금속 코팅한 광섬유 탐침이다.⁽¹⁾ 하지만 이렇게 제작되는 광섬유 탐침에는 뾰족한 기하학적인 모양과 깨지기 쉬운 재질 특성으로 인하여 내구성이 떨어지고 작은 개구 각도로 인하여 광 전달율이 매우 낮으며 탐침을 근접장 영역에 진입시킨 후 시료와 탐침 간의 거리를 유지시키기 위해서 매우 복잡한 거리 유지 장치가 필요하다는 단점들이 있다. 이러한 단점들을 극복하기 위해서 그림 1과 같은 새로운 개념의 근접장 광학 탐침을 광 리소그래피를 이용하여 제작하였다.⁽²⁾ 이렇게 제작된 나노 탐침 슬라이드는 내구성과 광 전달률이 뛰어 날뿐만 아니라 나노구조 물질을 근접장 탐침 위에 올리기만 하면 근접장 영역에서 측정을 수행할 수 있다.

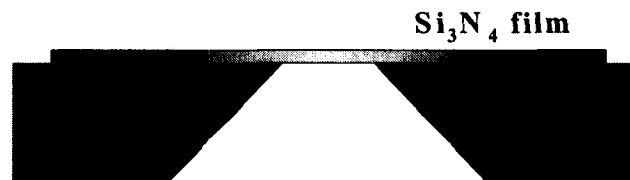


그림 1. 나노 슬라이드 결합 나노 탐침의 개념도

리소그래피를 이용한 탐침 제작에는 상당한 시간과 노력이 소요되기 때문에 설계된 탐침의 광학적 성질을 미리 알아낼 수 있는 시뮬레이션이 필요하다. 시뮬레이션을 통해서 제작하고자 하는 탐침의 광학적 성질을 미리 알아낼 수 있다면 다양한 구조를 미리 시뮬레이션 해서 이상적인 구조를 선택할 수 있다. 본 연구에서는 Finite Difference Time Domain(FDTD)방법을 이용하여 나노 탐침 슬라이드에서의 빛의 전파에 대한 시뮬레이션을 수행했다. 공간좌표 상에서 맥스웰 방정식을 이용하여 전자기적인 현상을 시뮬레이션 하는 FDTD 방법은 상당한 량의 계산이 필요하지만 매질에 대한 가정이나 프레넬 근사와 같은 근사를 사용하지 않기 때문에 개구 근처에 생성되는 근접장의 전기장 분포를 정확히 알아낼 수 있다. 또한 시간에 의한 전파 방정식에 의해서 시뮬레이션을 진행하기 때문에 빛이 진행함에 따라서 발생하는 현상들을 직관적으로 살펴볼 수 있다.

개구 주변에 빛이 새는 것을 막기 위해서 금속 코팅을 하기 때문에 금속 코팅을 한 경우와 하지 않은 경우로 나누어서 시뮬레이션을 진행했다. 금속막을 통과하는 빛이 거의 없을 것이므로 코팅을 한 경우의 시뮬레이션은 완전 도체(PEC : Perfectly Electric Conductivity)로 만들어진 개구에 대한 시뮬레이션과 같을 것이다. 완전 도체로 이루어진 개구에 대한 시뮬레이션의 경우 유효 개구 크기(effective

aperture size)가 실제로 존재하는 기하학적인 개구 크기와 일치한다.

코팅을 하지 않은 경우에는 Si으로 입사되는 빛을 완전히 흡수되지 않는 기 때문에 Si내부에 전기장 분포가 생겨나며 유효 개구가 실제 개구보다 더 크게 나타난다. 먼저 굴절률 변화에 의한 영향만을 고려한 시뮬레이션에서는 개구에서 상당히 먼 지점에서도 evanescent wave가 발생했다. 이런 결과는 다중 반사(multiple reflection)에 의한 것으로 생각된다. 이런 문제를 해결하기 위해서 Si을 lossy dielectric material로 근사하여 흡수를 고려한 시뮬레이션을 진행하였다.

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업(M1-0203-00-0082) 지원을 받아 수행되었음.

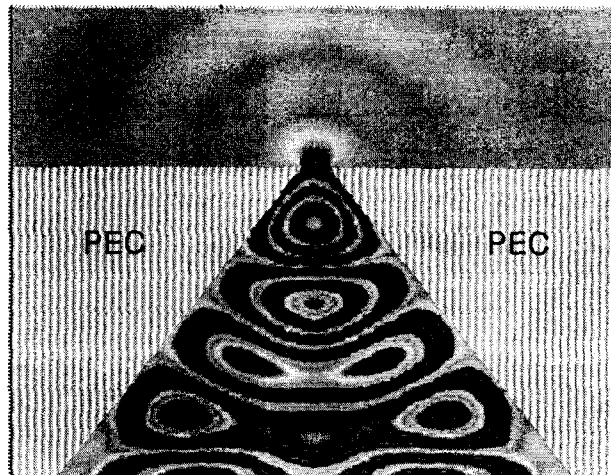


그림 2. Perfect Electric Conductivity를 가정했을 때 나노 슬라이드 결합 나노 탐침 주변의 전기장 분포

[참고 문헌]

1. E. Betzig, J. K. Trautman, T. D. Harris, J. S. Weiner and R. L. Kostelak, *Science* 251, 1468 (1991).
2. Sang-Youp Yim, *Near-field Optical Properties of Quantum Structures*, Ph.D. Dissertation, Dept. of Physics, Yonsei University, 2001.
3. Taflove and Hagness, *Computational Electrodynamics*, Boston: Artech House, 2000.