

나노 슬릿과 나노 박스에 의한 플라즈몬 간섭현상에 관한 연구

Research on Interference of Surface Plasmon by Metallic Nano Slit and Nano Box

김재혁, 이규승, 김대근, 김경환, 안홍규, 박승한
연세대학교 물리학과
keilight@yonsei.ac.kr

최근들어 주기적으로 배치된 개구에 의해서 빛의 투과도가 비정상적으로 증가할 수 있다는 실험결과가 발표된 이후 나노 슬릿이나 나노 aperture에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾ 본 연구에서는 실제 금속으로 만들어진 나노 더블 슬릿과 두 개의 나노 박스로 이루어진 구조에서 일어나는 효과에 대한 연구를 시뮬레이션을 통해 진행하였다. 2차원 Finite Difference Time Domain(FDTD) 시뮬레이션의 공간 구성은 그림 1과 같다. 슬릿의 두께가 얇지 않은 경우, 경계조건에 의하여 수직 방향 편광(TMz mode)은 슬릿을 거의 통과하지 못하기 때문에 수평 방향 편광(TEz mode)의 빛에 대한 시뮬레이션을 진행하였다.

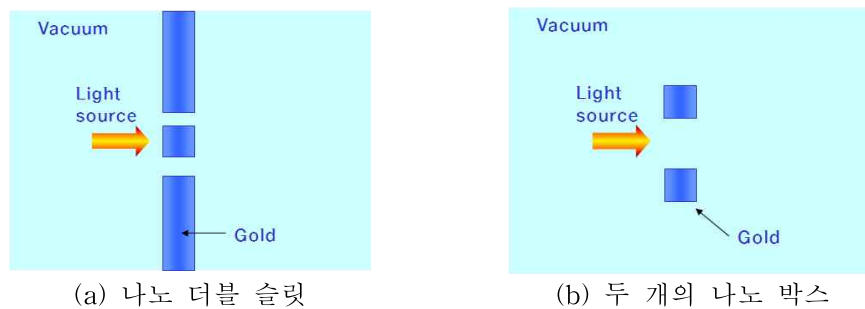


그림 1. 시뮬레이션 공간 구성

실제 금속으로 이루어진 구조에서 일어나는 현상에 미치는 효과를 연구하기 위해 Drude 모델을 사용하였다.⁽⁵⁾ 금속 내부에서의 전자기파는 다음과 같은 Ampere의 법칙과 momentum equation을 사용하여 기술할 수 있다.⁽⁶⁾

$$\epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \nabla \times \vec{H} - \vec{J}_p, \quad \frac{\partial \vec{J}_p}{\partial t} = -\nu \vec{J}_p + \epsilon_0 \omega_p^2 \vec{E}$$

\vec{J}_p 는 polarization current이며 ν 는 collision frequency, ω_p 는 plasma frequency를 의미한다. ω 의 파장을 가지는 빛이 입사하였을 때, 금속 내부의 유전율(permittivity)은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\epsilon = \epsilon_0 \left[\epsilon_\infty + \frac{\omega_p^2}{\omega(i\nu - \omega)} \right]$$

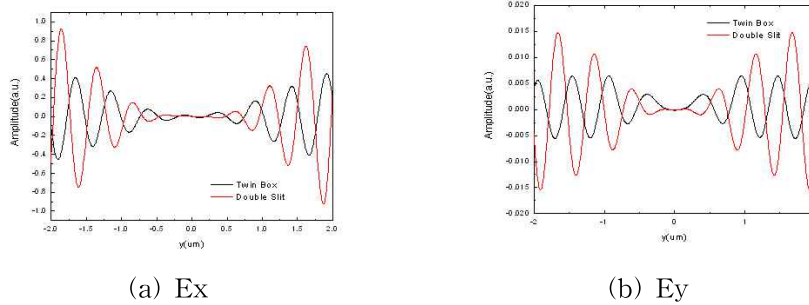


그림 2. Far Field에서의 Amplitude 패턴

금으로 이루어진 나노 구조에서 발생하는 현상에 대해 시뮬레이션을 진행하기 위해 Drude 모델에서 사용하는 plasma frequency와 collision frequency는 각각 $1.49284 \times 10^{16} Hz$ $1.109 \times 10^{15} Hz$ 로 설정하였으며, ϵ_{∞} 는 11.575로 설정하였다. 이 값들은 488nm의 빛에 대한 금의 유전율인 $-2.13 + 3.92i$ 에 해당하는 값들이다. Ar 레이저를 사용하여 실제 실험을 진행한다고 가정하였으므로 488nm의 파장을 가지는 가우시안 빔을 입사시켜서 금 나노 슬릿과 금 나노 박스에서 발생하는 surface plasmon에 의한 현상을 슬릿간(박스간)의 거리를 변화시켜가며 비교하였다. Far field에서 나노 더블 슬릿과 두 개의 나노 박스에 의한 간섭 패턴은 그림 2에서 확인할 수 있는 바와 같이 위상이 180도 차이 나는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 바비네 원리에 의해 설명할 수 있다. 더블 슬릿과 나노 박스에서 약 5nm 떨어진 Near field 영역에서도 그림 3과 같이 바비네 원리를 만족하는 모습을 관찰할 수 있다. 이와 같은 결과를 통해, Fresnel 영역과 Fraunhofer 영역에서 성립하는 바비네 원리는 Near field 영역에서도 성립함을 확인하였다.

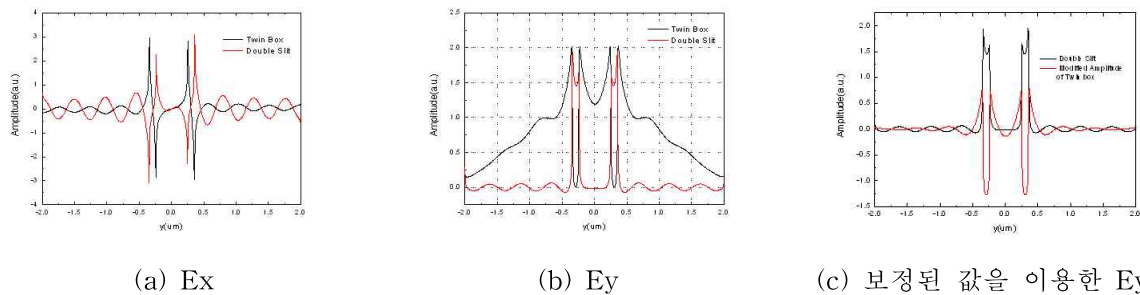


그림 3. Near Field에서의 Amplitude 패턴. 빛의 진행방향으로 전파하는 Ey값의 보정을 위해 두 개의 나노 박스의 경우, light source에 의한 효과를 보정하였다.

1. T. W. Ebbesen, H. J. Lezec, H. F. Ghaemi, T. Thio, Nature 391, 667-669 (1998)
2. H. J. Lezec, A. Degiron, E. Devaux, R. A. Linke, L. Martin-Moreno, F. J. Garcia-Vidal, T. W. Ebbesen, Science 297, 820-822 (2002).
3. J. O. Tegenfeldt, O. Bakajin, C. F. Chou, S. S. Chan, R. Austin, W. Fann, L. Liou, E. Chan, T. Duke, and E. C. Cox, Phys. Rev. Lett. 86, 1378-1381 (2001).
4. J. A. Porto, F. J. Garcia-Vidal, J. B. Pendry, Phys. Rev. Lett. 83, 2845-2848 (1999).
5. Jeffrey L. Young and Ronald O. Nelson, IEEE Antennas and Propagation Magazine 45, 1 (2001).
6. J. R. Wait, *Electromagnetic Waves in Stratified Media*, Oxford, UK, Pergamon Press, (1970).