

## 금속 나노 구조에 의한 간섭현상에 관한 연구

### Research on Interference by Metallic Nano Structures

김재혁, 이규승, 김대근, 김정환, 안홍규, 박승환  
 연세대학교 물리학과  
 keilight@yonsei.ac.kr

입사하는 빛의 파장보다 작은 크기의 개구들이 주기적으로 배치된 구조에서 빛의 투과도가 비정상적으로 변화한다는 실험결과가 Ebssen에 의해 발표된 이후 나노 슬릿이나 나노 aperture에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>(1)-(4)</sup> 본 연구에서는 단일 나노 슬릿과 나노 박스에 의한 효과에 대한 연구를 2차원 Finite-Difference Time-Domain (FDTD) 시뮬레이션을 통해 진행하였다. 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.

금속으로 이루어진 구조에서 일어나는 현상을 시뮬레이션에 반영하기 위해 FDTD의 계산 방식에 Drude 모델을 적용하였다.<sup>(5)</sup> 빛이 금속 내부로 입사할 때, 금속 내부에서의 전자기파는 다음과 같은 Ampere의 법칙과 momentum equation을 사용하여 기술할 수 있다.<sup>(6)</sup>

$$\epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \nabla \times \vec{H} - \vec{J}_p$$

$$\frac{\partial \vec{J}_p}{\partial t} = -\nu \vec{J}_p + \epsilon_0 \omega_p^2 \vec{E}$$

$\vec{J}_p$ 는 polarization current이며  $\nu$ 는 collision frequency,  $\omega_p$ 는 plasma frequency를 의미한다.  $\omega$ 의 파장을 가지는 빛이 입사하였을 때, 금속 내부의 유전율(permittivity)은 Drude 모델에 따라 다음과 같이 정의할 수 있다.

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

이 유전율 함수와 금속 내부의 전자기파를 FDTD의 알고리즘에 적용하기 위해 Drude 모델에서 사용하는 plasma frequency와 collision frequency는 각각  $1.49284 \times 10^{16} Hz$   $1.109 \times 10^{15} Hz$ 로 설정하였으며,  $\epsilon_\infty$ 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 단일 나노 슬릿과 나노 박스에서 발생하는 간섭에 의한 현상에 대한 연구를 진행하였다. 그림 1은 단일 나노 슬릿과 나노 박스에 의한 빛의 세기 분포를 나타낸다. 나노 박스의 경우, near-field 영역의 패턴과 far-field 영역의 패턴이 다른 형태를 보이는 것을 관찰할 수 있다. 이는 나노 박스의 양 꼭지점에서 발생한 evanescent 파가 박스의 표면을 따라 서로 간섭하여 패턴을 형성하기 때문이라 할 수 있다. 따라서, 단일 슬릿을 두 개 배열하면 슬릿의 개구에서 생성된 evanescent 파가 슬릿과 슬릿 사이의 금속 구조체 표면을 따라 서로 간섭현상을 일으키면서 near-field 패턴과 far-field 패턴이 서로 다르게 나타날 것임을 예상할 수 있다.

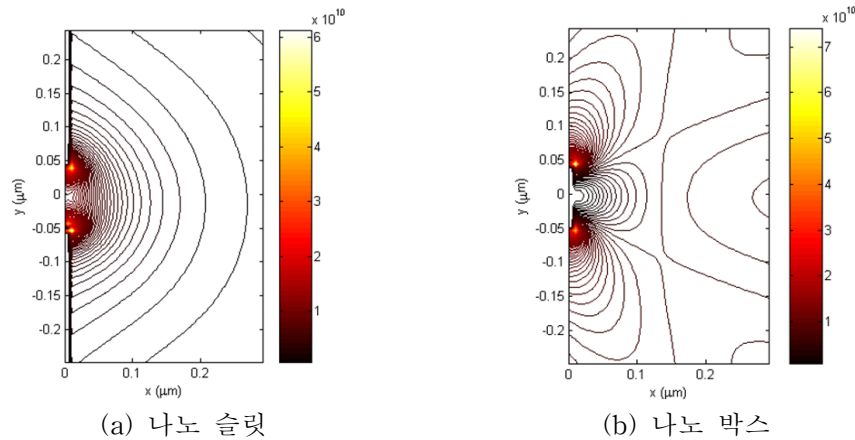


그림 1. 단일 나노 슬릿과 나노 박스의 세기 분포

그림 2는 나노 더블 슬릿에 의한 빛의 세기 분포를 나타낸 것이다. near-field 영역의 패턴과 far-field 영역의 패턴이 서로 다를 수 있다.  $y=0$  인 지점에서 near-field는 극소점이, far-field에는 극대점이 생긴다. near-field의 패턴에 가장 큰 영향을 주는 evanescent 파가 x축을 따라 급격히 감소하면서 far-field의 패턴 형태가 나타난다. 따라서, near-field 패턴과 far-field 패턴 사이에 간섭 무늬가 거의 나타나지 않는 'intermediate region'이 생성됨을 그림 2를 통해 확인할 수 있다.

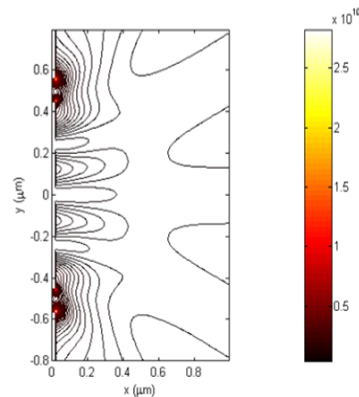


그림 2. 나노 더블 슬릿에 의한 빛의 세기 분포

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).