

금속 이중 나노 슬릿에서의 근접장 공명조건에 관한 연구

Optical near-field resonance in nano-metallic double slits

김대근, 채규민, 이현호, 임상엽, 박승한
 연세대학교 물리학과
 dgkim@yonsei.ac.kr

최근들어 주기적으로 배치된 개구에 의해서 빛의 투과도가 비정상적으로 증가할 수 있다는 실험결과를 발표한 이후, 나노 슬릿이나 나노 aperture에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다⁽¹⁻⁴⁾. Ebbesen 등이 관측한 파장보다 작은 영역의 hole array를 통한 특이한 광학적 투과특성 때문에 이러한 특이한 현상에 대한 관심이 집중되고 있으며 생물학이나 광전자 소자로의 적용이 기대되고 있다. 기존에 진행되고 있는 하나의 나노 슬릿이나 슬릿의 주기적인 배열에 의한 효과들에 대한 연구와 비교하여 본 연구에서는 근접장 영역에서 두 개의 슬릿에서 일어나는 간섭현상에 중점을 두고 연구를 수행하였다. 하나의 나노 슬릿에 대한 연구를 통하여 편광방향에 의한 투과율변화나 슬릿 주변의 에너지 전파와 같은 분석 등은 수행되어 왔으나 근접장 영역에서 슬릿에 의한 간섭에 대한 세밀한 연구는 아직 보고 된 바 없다. 따라서 본 연구에서는 이중 슬릿과 투과 영역에서 일어나는 현상을 2차원 FDTD 시뮬레이션을 이용하여 계산하였다. 특히, 금속표면에 한정된 길이의 dielectric cladding를 두고 슬릿과 dielectric cladding의 두께에 따라서 빛이 전파되는 조건을 분석하여, 특수한 조건에서는 dielectric cladding이 공진기를 형성하여 빛이 전파되지 않음을 알 수 있었다. 그림 1은 본 연구에서 정상파를 형성하기 위하여 고려된 이중 슬릿과 dielectric cladding의 구조를 보여준다. 슬릿의 두께가 아주 얇지 않은 경우 경계조건에 의해서 z 방향 편광(TMz mode)의 빛은 거의 투과하지 못하기 때문에 y방향 편광(TEz mode)의 빛에 대한 시뮬레이션을 주로 진행하였다.

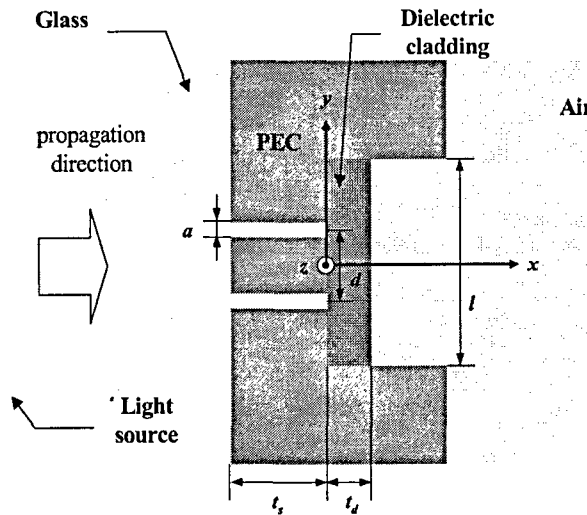


그림 1. 2차원 FDTD 해석을 위한 공간 구성

기초적인 분석을 위하여 이상적으로 흡수가 없는 이상적인 금속과 dielectric cladding을 가정하였고, 유한한 길이의 dielectric cladding 내부에서 슬릿간의 간격과 dielectric cladding의 두께를 조절하여 정상파(standing wave)가 형성되는 조건을 찾아 보았다. 이는 근접장 영역에서 슬릿을 통과한 evanescent wave들이 far-field로 전파되지 않고 금속표면을 따라 dielectric cladding으로 전파될 때 일어나는 현상으로, 유한한 크기를 가지는 dielectric cladding이 공진기의 역할을 하기 때문에 표면을 따라 전파된 빛들이 서로 간섭되어 정상파를 형성한 것으로 판단된다. Dielectric cladding으로 Si₃N₄를 고려하고 굴절률을 n=2.0을 가정할 때, 길이가 6.0 μm, 두께 100 nm 에서 정상파가 쉽게 형성되어 공진기 내부에 빛이 구속될 수 있음을 알 수 있었다. 본 연구는 과학기술부 국가지정연구실 사업(M1-0203-00-0082) 지원을 받아 수행되었습니다.

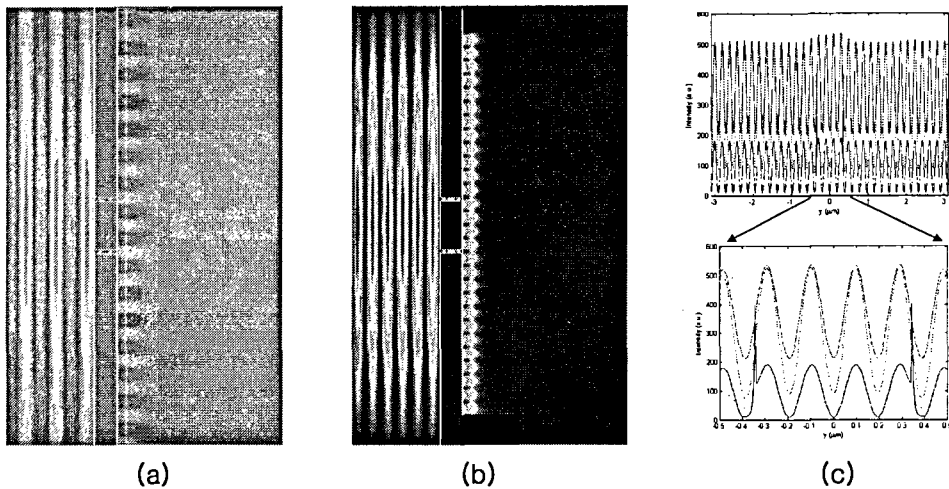


그림 2. 정상파가 형성된 경우의 (a)전자기파, (b)강도분포, (c)강도분포의 단면

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).