

금속 이중 나노 슬릿에 의한 근접장에 대한 분석

Optical near-field in nanometallic double slits

채규민, 이현호, 임상엽, 박승한
 연세대학교 물리학과
 valor@phya.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⁾. 기존의 연구에서는 하나의 나노 슬릿이나 슬릿의 주기적인 배열에 의한 효과들에 대한 연구가 진행되었으나 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 분석등이 이미 수행됐지만^(5,6) 근접장 영역에서 슬릿에 의한 간섭에 대한 세밀한 연구는 아직 보고 되지 않고 있다. 본 연구에서는 2차원 Finite Difference Time Domain (FDTD) 시뮬레이션을 이용하여 그림 1과 같이 50 nm의 폭과 250 nm의 깊이를 갖는 두 개의 금속 슬릿 구조에서 발생하는 근접장의 다양한 특성을 연구하였다. 슬릿의 두께가 아주 얇지 않은 경우 경계조건에 의해서 z방향 편광 (TMz mode)의 빛은 거의 투과하지 못하기 때문에 y방향 편광 (TEz mode)의 빛에 대한 시뮬레이션을 주로 진행했다.

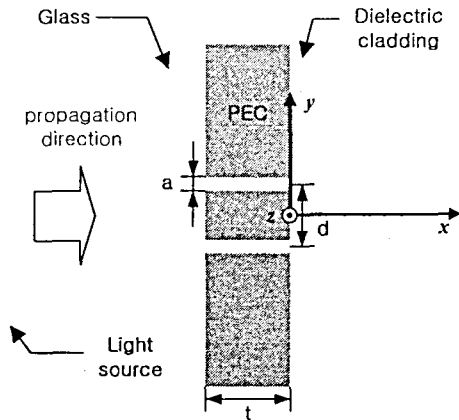


그림 1. 시뮬레이션 공간 구성

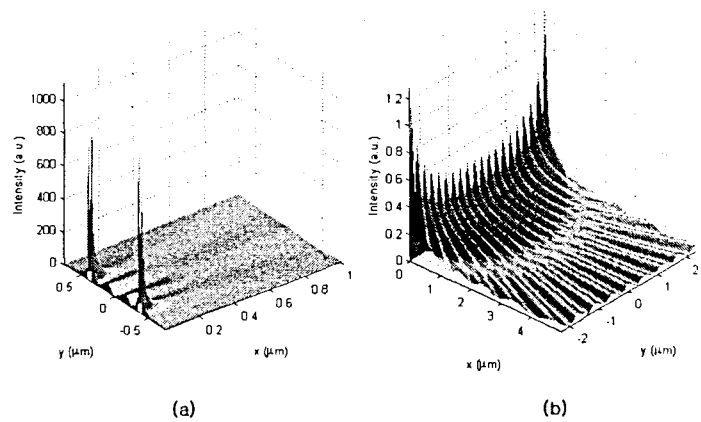


그림 2. 양 슬릿간 거리 변화에 따른 근접장 변화: (a) 슬릿 간격 = 750 nm, (b) 슬릿간격 = 5 μ m.

시뮬레이션은 금속표면에 dielectric cladding이 있는 경우와 없는 경우에 대해서 진행했는데 cladding이 없는 경우 그림 2와 같이 슬릿 근처의 근접장 영역에서 발생하는 evanescent wave에 의한 간섭 패턴과 원거리장 영역에서 발생하는 propagating wave에 의한 간섭 패턴이 서로 다른 방식으로 나타나는 것을 알 수 있었다. 예를 들어 $y = 0$ 인 지점들을 살펴보면 슬릿 근처에서는 소멸간섭이 일어나고 금속 표면에서 어느 정도 떨어진 지점부터는 보강간섭이 일어난다. 이것은 양 슬릿에서 발생하는 propagating

wave의 경우 위상차가 나지 않는데 반하여 근접장에 나타나는 간섭무늬를 결정짓는 evanescent wave의 경우 양 슬릿에서 발생하는 evanescent wave의 위상이 서로 π 만큼 차이가 나기 때문에 비롯된 결과이다. 이에 따라서, 근접장에 의한 간섭무늬와 원거리장에 의한 간섭무늬를 구분짓는 경계면이 존재하게 되며 이 경계면과 금속표면 사이의 거리는 그림 2에서 알 수 있듯이 슬릿간의 거리에 따라 증가한다. 이외에도 양 슬릿을 채운 물질의 굴절률을 서로 달리하여 간섭무늬를 이동시킬 수 있었으며 슬릿이 세 개인 경우에도 각각 독립적으로 이러한 현상이 일어나는 것을 확인할 수 있었다.

Dielectric cladding이 있는 경우에도 근접장에 의한 간섭무늬와 원거리장에 의한 간섭무늬가 서로 다르게 나타났지만 cladding/air 경계면에 존재하는 evanescent wave의 세기가 커지고 진행방향으로는 더 빨리 감소하는 차이를 보였다. 또한 cladding의 두께가 증가함에 따라서 cladding 주변의 evanescent wave의 세기분포가 그림 3과 같이 변하는 것을 알 수 있었다. 즉, cladding 두께가 40-60 nm인 경우에는 양 슬릿 사이에서 선명한 간섭무늬가 나타나고 양 슬릿 바깥쪽으로는 빛이 거의 전파하지 않았지만 두께가 90-110 nm 일 때는 슬릿 바깥쪽으로도 상당한 빛이 전파되는 것을 알 수 있었다. 본 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업(M1-0203-00-0082) 지원을 받아 수행되었습니다.

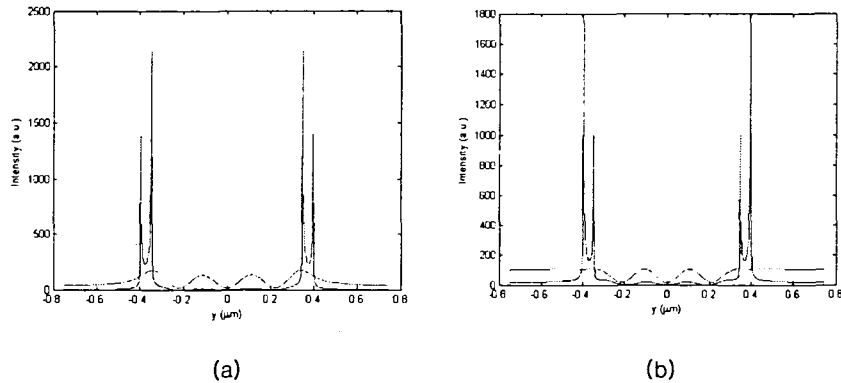


그림 3. Cladding두께에 따른 근접장의 변화: (a) Cladding 두께 = 60 nm, (b) Cladding 두께 = 100 nm.

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).
3. J. A. Porto, F. J. Garcia-Vidal, J. B. Pendry, Phys. Rev. Lett. **83**, 2845-2848 (1999).
4. P. N. Stavrinou, L. Solymar, Opt. Commun. **206**, 217-223 (2002).
5. P. K. Wei, H. L. Chou, W. S. Fann, Opt. Express **10**, 1418-1424 (2002).
6. H. F. Schouten, T. D. Visser, G. Gbur, D. Lenstra, H. Blok, Opt. Express **11**, 371-380 (2003).

F
B