

파장보다 작은 금속 구멍을 통한 회절

Diffraction by a sub-wavelength-sized aperture in a metal plane

김세현*, 신동재*, Arturo Chavez-Pirson**, 정승태*, 이용희*

*한국과학기술원 물리학과, **NTT 기초연구소

kalt@cais.kaist.ac.kr

구멍에 의한 빛의 회절은 광학의 기본적인 문제로서, 최근 근접장 광학(Near-Field Optics)의 발전과 더불어서 파장보다 작은 구멍에서 일어나는 빛의 회절에 대한 관심이 고조되고 있다.⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾ 본 연구에서는 그동안 주로 이론적으로 다루어지고 있던 파장보다 작은 금속 구멍을 통한 빛의 회절에 대해 실험 결과들을 보고한다.

회절된 빛의 먼장(Far-field)과, 근접장(Near-field)을 모두 측정하기 위해서 고체각 주사기(Solid angle scanner)와 근접장 주사 광학 현미경(Near-field Scanning Optical Microscopy)이 사용되었다. 고체각 주사기(Solid angle scanner)를 사용하여 반구면 위에서의 빛의 이차원 세기 분포가 다양한 편광 상태에 따라서 측정되었고⁽⁴⁾ 근접장 탐침(NSOM probe)으로 작은 금속 구멍 주변을 주사함으로써 근접장이 측정되었다. 작은 구멍은 최근에 개발된 고풍력 근접장 광섬유 탐침(High-power near-field fiber probe)구조를 이용하여 제작되었다.⁽⁵⁾

먼장에서는, 작은 금속 구멍에 빛이 수직으로 입사하는 경우, 다중 극(Multipole analysis)분석⁽⁶⁾을 통해서, 파장이 짧아질 수록 높은 차수의 항들이 더 중요해 진다는 것을 알 수 있었다. 빛이 비스듬히 입사하는 경우에는 입사면(Plane of incidence)과 평행하게 편광된(p-polarized) 빛의 회절의 세기 분포에서 비대칭성을 볼 수 있었다. 이것은 금속면에 수직인 방향으로 존재하는 전기 쌍극자로 설명할 수 있다. 한편 빛의 편광을 바꾸어 가면서 구멍을 통한 빛의 투과율을 살펴본 결과, 입사면과 수직하게 편광된(s-polarized) 빛의 경우에서 최대가 되었다. 회절 구멍이 중심에서 벗어나 있는 경우에는, 강한 편광 선택성이 관찰되었는데, 이러한 구조가 근접장 탐침의 편광조절에 이용될 수 있을 것으로 보인다.

근접 장 실험에서는, 구멍 주변의 금속 표면의 긁힘(Surface scratches)과 관련하여, 표면 플라즈몬(Surface plasmons)에 의한 무늬가 형성됨을 관찰하였다. 긁힘의 방향과 수직인 방향으로 편광된 빛이 입사한 경우에 간섭무늬가 가장 분명하게 나타났고, 나란한 방향으로 편광된 빛의 경우에는 간섭무늬가 나타나지 않았다. 이 사실로부터 구멍에서 발생된 표면 플라즈몬과 1차원 격자의 상호작용으로 무늬가 생긴다고 볼 수 있다. 한편 작은 구멍 주위에는 편광방향으로 근접장의 분포가 길어짐이 관찰되었는데, 이것의 감쇠 길이(Decay length)를 측정해본 결과, 표면 플라즈몬이 표면의 긁힘에서 산란되면서 에너지가 감쇠 하는 것으로 해석할 수 있었다.

1. C. Obermuller and K. Karrai, Appl. Phys. Lett. 67, 3408 (1995)
2. R. Decca, H. Drew and K. Empson, Appl. Phys. Lett. 70, 1932 (1997)
3. H. Bethe, Phys. Rev. 66, 163 (1944)

4. D. J. Shin, A. Chavez-Pirson, and Y. H. Lee, J. Microsc. 194, 353 (1999)
5. S. T. Jung, D. J. Shin, and Y. H. Lee, Appl. Phys. Lett. (submitted)
6. D. J. Shin, A. Chavez-Pirson, and Y. H. Lee, Opts. Lett. (Will be published)

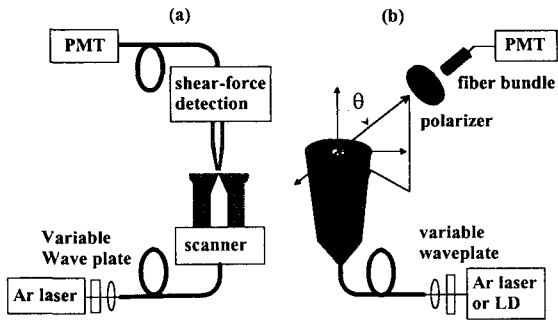


그림 1 먼 장과 근접 장을 측정하는 실험장치

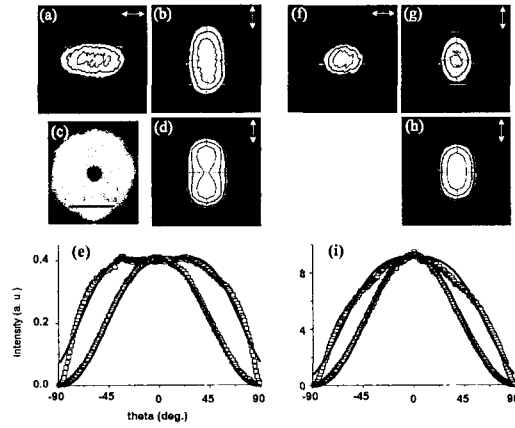


그림 2 수직으로 입사한 빛의 회절

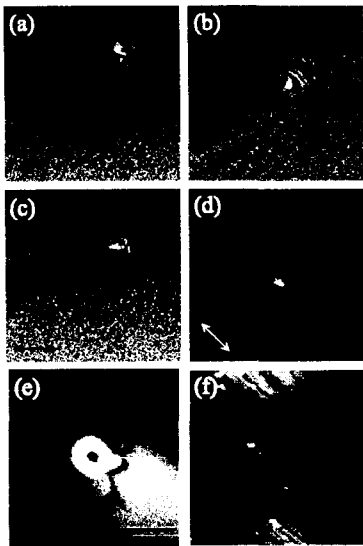


그림 3 작은 구멍에서 회절한 선편광된 빛의 근접장 이미지

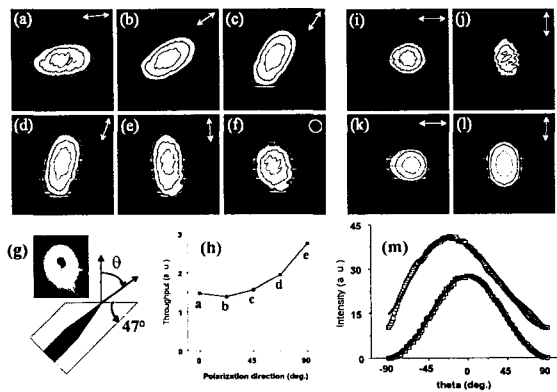


그림 4 비스듬히 입사한 빛의 회절

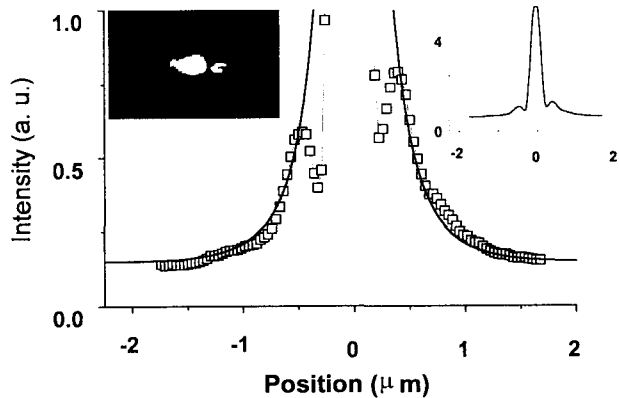


그림 5 구멍 주변에 형성된 돌출형태의 빛