

Sharp-Ridge 나노개구의 경사면에 의한 광특성 분석 Study on optical enhancement in Sharp-Ridge nano aperture with slope

*최극홍¹, #박노철¹, 이원섭¹, 김태섭¹, 박경수¹, 박영필¹

*G. J. Choi¹, #N. C. Park(pnch@yonsei.ac.kr)¹, W. S. Lee¹, T. S. Kim¹, K. S. Park¹, Y. P. Park¹

¹연세대학교 기계공학과

Key words : Nano Aperture, Localized Surface Plasmon Resonance

1. 서론

21세기 첨단 기술의 주요 키워드는 소형화와 집적화이다. 이에 따라 정보저장기기, 반도체 공정 등의 많은 분야에서 작은 크기의 빛을 요구하고 있다. 그러나 빛의 크기를 줄이기 위해 일반적으로 사용되는 방식인 렌즈를 이용한 굴절은 빛의 회절한계에 의해 그 크기를 줄이는데 한계가 있다.

이를 극복하기 위한 한가지 방법으로 나노개구에 의한 광증폭 현상이 있다. 나노개구는 입사광의 파장보다 작은 구멍이 있는 금속 박막으로 표면 플라즈몬 공명 현상(Surface plasmon resonance : SPR)에 의해 회절한계이하의 spot size를 갖는 강한 출사광을 얻을 수 있다.

나노개구의 출사광은 나노개구의 형상에 의해 그 효율이 변화하게 된다. 이 때문에 C, I, Bow-tie^[1,2,3] 등의 형상을 갖는 나노개구들이 연구되어왔다. 그러나 이 나노개구들은 세기의 증폭과 초점크기를 줄일 수는 있었지만 단일 초점을 형성하지 못한다는 단점이 존재했다. 그러나 Sharp-Ridge 나노개구는 단일 초점을 형성하면서도 광의 세기와 크기의 장점은 그대로 유지시킬 수 있어 초소형 정밀 가공에 있어 효과적일 것으로 예상된다.^[4]

본 연구에서는 Sharp-Ridge 형 나노개구의 경사면이 출사광의 세기와 spot size에 미치는 영향을 유한 차분시간영역법(Finite-Difference Time-Domain : FDTD)^[5]을 이용하여 연구하였다.

2. 나노개구의 모델설정

표면 플라즈몬 공명 현상은 입사된 빛에 의해 금속 표면의 전자가 여기되어 금속과 유전체의 경계면에서 전자장 증폭을 일으키는 현상이다. 이 증폭된 전자장은 맥스웰 회전방정식을 이용하여 계산할

수 있다. 본 연구에서는 이 연산을 FDTD 방법을 이용한 시뮬레이션을 통해 연구하였다.

그림 1은 Sharp-Ridge 형 나노개구에 경사면을 갖는 모델의 개략도이다. 기존의 Sharp-Ridge 형 나노개구는 표면 플라즈몬 공명 현상을 효과적으로 이용하기 위해 돌출된 부분을 사용하였다. 여기에 그림 1과 같은 경사면을 갖도록 한다면 더욱 효과적인 투사광의 크기 및 세기를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 경사면에 대한 변수는 그림 1과 같이 윗면에서 보았을 때의 길이로 선정하였으며 바닥면에 뚫려있는 Aperture를 추가 변수로 선정하였다. 통제할 조건으로 빛의 파장을 405 nm, x축 편광을 주었으며, 금속의 재질을 알루미늄으로 사용하였고 Aperture 형상의 비율은 유지하였고, 해석을 위한 mesh 크기는 5 nm × 5 nm × 5 nm 로 설정하였다.

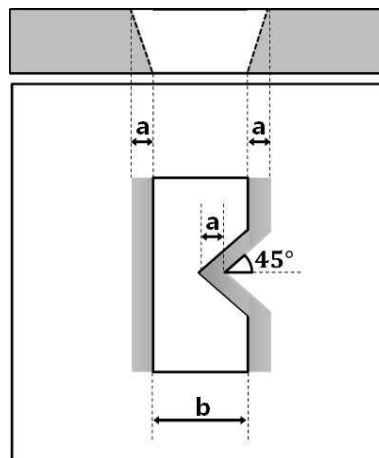


Fig. 1 Schematic of Sharp-ridge aperture with slope

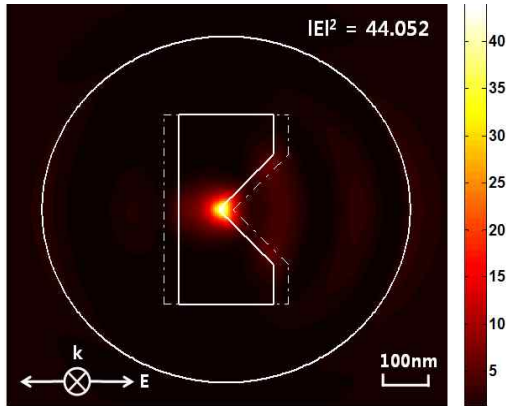


Fig. 2 IEI2 intensity distribution

3. 해석 결과

그림 2 는 FDTD방법을 사용해 얻은 $|E|^2$ intensity 분포도이다. 측정지점은 바닥면에서 20 nm 떨어진 지점이다. 출사광의 최대 강도는 44.05 (a.u) 로 기존 모델^[4]과 비교해 168 %의 증가된 값을 가지며, 같은 크기의 경사면이 없는 Aperture 모델(a = 0, b = 280)과 비교하면 143 %로 증가된 값을 가진다. Full width at half maximum (FWHM)으로 구한 spot size는 50 nm × 55 nm 로서 기존의 Aperture 모델과 변화가 없었다. 아래의 표 1 은 위에서 언급한 세 가지 모델의 수치, 출사광의 세기 그리고 크기를 나타낸 것이다.

그림 3 은 가장 큰 광 세기를 나타낸 모델의 바닥면에서 20 nm 떨어진 곳에서 X축과 Y축의 단면 광 프로파일이다. 그림 2의 Sharp-Ridge 부분에서만 광의 세기가 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 Sharp-Ridge 형 나노개구에서 경사면에 의한 효과를 살펴보았다. 이를 통해 기존의 모델^[4]보다 68 %, 경사면이 없는 같은 Aperture 크기에서는 43 %의 증가된 빛의 세기를 얻었다. 그러나 출사광 크기에는 큰 변화가 없었다. 이러한 특성이 나타나는 이유는 금속 표면 플라즈몬이 좁고 뾰족한 국소공간에서 공진이 일어나기 때문으로 추정된다. 그러나 Aperture의 바닥면에서 바라본 Sharp-Ridge 부분의 사이즈가 동일하기 때문에 출사광 크기에는 영향이 없는 것으로 판단된다.

Table 1 Base, with slope and without slope model

Model	a (nm)	b (nm)	Intensity (a.u.)	Spot size (nm)
Aperture(200) Base model	0	200	26.169	50 × 55
Aperture(280) with slope	90	280	44.052	50 × 55
Aperture(280) without slope	0	280	30.766	45 × 55

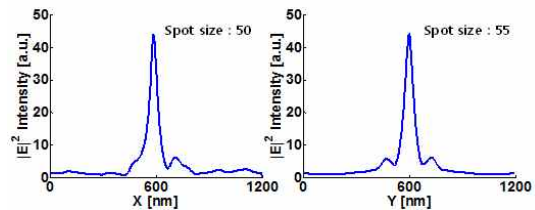


Fig. 3 IEI2 cross section of sharp-ridge aperture at x-direction and y-direction

후기

이 논문은 2010 년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2010-0015965).

참고문헌

1. Liying S., Rajesh K., Xiaolei S. and Lambertus H., "Optical transmission properties of C-shaped sub-wavelength waveguides on silicon," Applied physics letters, 96, 241109, 2010
2. Kazuo T. and Masahiro T., "Optimized computer-aided design of I-shaped subwavelength aperture for high intensity and small spot size," Optics communications, 233, 231-244, 2004
3. Eric X. and Xian X. "Enhanced optical near field from a bowtie aperture," Applied physics letters, 88, 153110, 2006
4. W.S. Lee, S.M. Kang, T.S. Kim, H.B. Moon, N.C. Park, K.S. Park and Y.P. Park "Design of Sharp-ridge aperture using surface Plasmon resonance for Al film," SISS, 20, 13-14, 2010
5. Remcom Inc.: XFDTD 6.5 software, 2008