

# 나노 사각형-고리 개구에서의 spot의 진화에 관한 연구

## Research on Evolution of Spot at Nano Rectangular-Ring Aperture

정은희, 김재혁, 김경환, 박승환  
연세대학교 물리학과  
[jeunh99@daum.net](mailto:jeunh99@daum.net)

Bethe의 이론에 의하면, 개구를 통과하여 만들어지는 빛의 크기는 개구의 크기에 비례하므로, 개구의 크기가 감소할수록 더 작은 패턴을 만들 수 있다. 그러나 개구의 크기가 입사파장의  $\lambda/10$  이하로 감소하면, 빛의 투과량이 개구 크기의 네 제곱에 비례하여 급격히 줄어들게 되는 한계가 있다.<sup>(1)</sup> 나노 크기 개구의 투과도를 높이기 위한 방법으로 도파관 특성을 가진 C형, H형, 8형 개구가 제안되었다.<sup>(2,3)</sup> 이러한 개구는 얇은 금속 박막에 도파관 특성을 가진 개구를 제작하고 개구 속에 돌출된 구조를 만들어 돌출부 근처 표면 플라즈몬 효과에 의해 근접장의 세기를 강하게 만들어 준다. X. Shi에 의해 제안된 C형 개구를 사용할 경우 같은 크기의 정사각형 개구를 사용할 때 비해 근접장 영역에 형성되는 Spot의 세기를 약 2000배정도 증가시키며, 집중된 Spot의 모양을 개구 뒤 48nm에서 140nm X 80nm에서 136nm X 128nm로 보다 원형에 가까운 모양으로 만들 수 있다.<sup>(3)</sup>

본 연구에서는 근접장에서 표면 플라즈몬 효과를 이용하여 투과된 빛의 모양이 좋은 가우시안 빔을 형성하기 위해 고투과율 C형을 응용하여 새로운 나노 구조 개구를 디자인 하였다. 개구는 완전도체일 경우로 가정하였고, z방향 편광 된 파장이 1 $\mu$ m인 입사파를 FDTD(Finite difference time domain)방법<sup>(4)</sup>을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 개구 속에 한 쪽 면에 돌출된 금속에서 표면 플라즈마 효과를 고려한 C형의 경우는 X.Shi 논문<sup>(3)</sup>에서 그림1과 같이 근접장에서 spot의 모양이 타원형으로 나타남을 보여주고 있다.

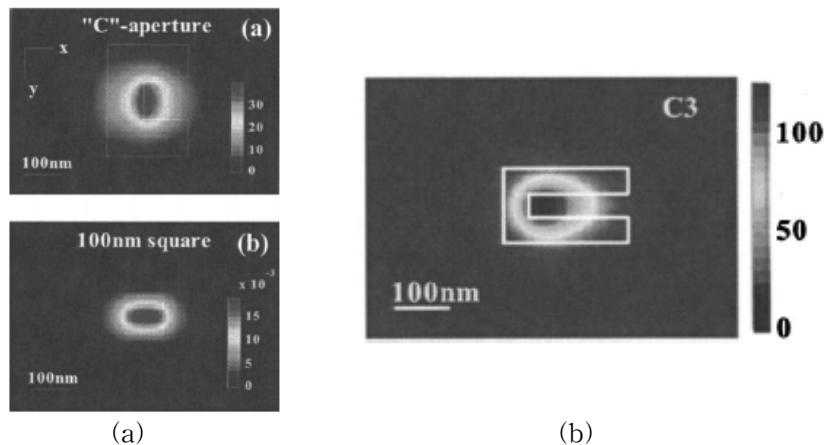


그림 1 (a) C형 개구와 사각형(100 X 100nm)에서의 타원형 spot 모양<sup>(3)</sup>  
(b) C3형 개구에서의 타원형 spot 모양<sup>(3)</sup>

X.Shi 논문<sup>(3)</sup>의 여러 C형 개구 구조 중 spot의 모양과 세기가 좋은 C3형 개구를 기반으로 그림2와 같은 새로운 나노구조 사각형-고리 개구를 다양한 크기로 변형시키면서 spot의 모양과 크기변화를 알아보았다. 나노 사각형-고리 개구는 돌출된 금속을 가운데 삽입하므로 표면 플라즈몬 효과에 의해 사각형 개구 경우 보다 근접장에서 대칭적인 spot이 형성될 것이라고 예상하였다.

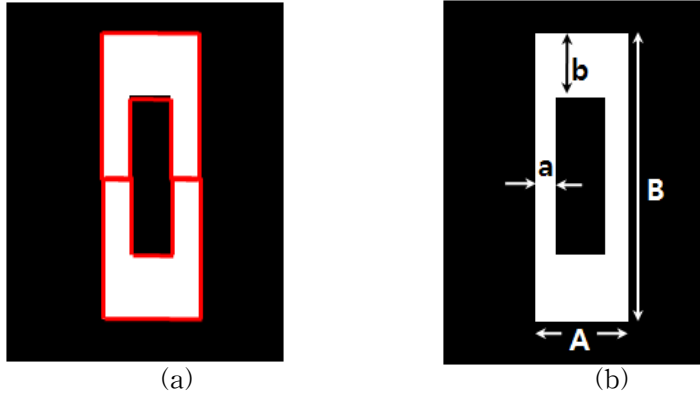


그림 2. 새로운 사각형-고리 개구 모양

사각형-고리 개구를  $A \times B = 100 \times 400 \text{ nm}$ ,  $a \times b = 25 \times 50 \text{ nm}$  크기로 설계한 뒤 FDTD 시뮬레이션을 한 결과 그림 3과 같이 spot이 두 개가 생긴 후 약  $z=50\sim70\text{nm}$  부근에서 두 spot이 만나 하나의 가우시안 모양으로 형성되었다가 점점 퍼지는 현상을 확인 할 수 있었다.

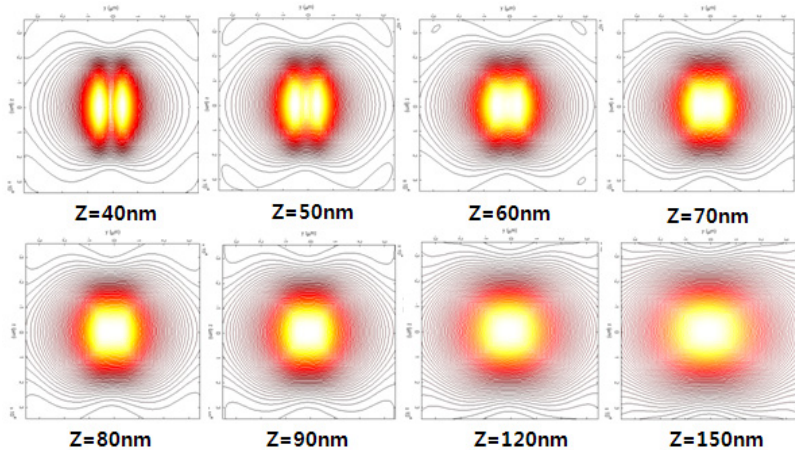


그림 3. 사각형-고리 개구( $A \times B=100 \times 400\text{nm}$ ,  $a \times b=25 \times 50\text{nm}$ )를 통과한 후 spot의 진화

또한 그림2에서 개구의 크기  $a \times b$ 를  $25\text{nm} \times 100\text{nm}$ 에서  $25\text{nm} \times 50\text{nm}$ 로 줄임으로써  $z=90\text{nm}$  지점에서 Spot의 크기가 약  $240\text{nm} \times 310\text{nm}$ 에서  $240\text{nm} \times 250\text{nm}$ 로 작아짐으로써 Spot의 크기를 조절 할 수 있었다.

1. H. A. Bethe, Phys. Rev., 66, 163-182 (1994).
2. G. S. Eom, D. Yang, E. Lee, S. Park, Y. Lee, J. W. Hahn, J. Appl. Phys., 101, 103101 (2007).
3. X. Shi, L. Hesselink, J. Opt. Soc. Am. B **21**, 1305 (2004).
4. A. Taflove, S. C. Hagness, *Computational Electrodynamics : The Finite-Difference Time-Domain Method*, Artech House (1995).