

금속 슬릿 주변에 유전체 chirped grating을 배열함으로써 구현한 beam focusing

Beam focusing by a single subwavelength metal slit surrounded by chirped dielectric surface gratings

김세윤, 박정현, 임용준, 김희, 이병호

서울대학교 전기공학부 액티브 플라즈모닉스 응용 시스템 창의연구단

E-mail: byoungho@snu.ac.kr

Abstract: We propose a novel method for the beam focusing by a single subwavelength metal slit surrounded by chirped dielectric surface gratings. In the proposed method, the period of each grating is chirped to make a focused beam at the desired position. Design of the grating structures for optimal beam focusing and the analysis of the field distribution are conducted based on the rigorous coupled wave analysis (RCWA). It is shown that the focused beam is formed at $1.5\mu\text{m}$ from the metal substrate and its full width at half maximum (FWHM) is 411nm .

Subwavelength hole array에서 발생하는 extraordinary optical transmission 현상과 특정 주기의 금속 격자 또는 유전체 격자로 둘러싸인 subwavelength hole로부터 beam이 형성된다는 것이 발견된 이후, 이와 관련된 많은 연구들이 진행되었다⁽¹⁾. 최근에는 subwavelength metal slit 주변에 비대칭적인 격자를 배열할 경우 생성되는 beam의 방향을 바꿀 수 있는 off-axis directional beaming에 관한 연구 결과가 발표되었다⁽²⁾.

본 논문에서는 subwavelength metal slit의 양쪽으로 chirped dielectric surface grating을 배열함으로써 금속 substrate로부터 원하는 거리만큼에서 초점을 맺을 수 있는 beam focusing 구조를 제안하였다. Beam focusing 현상을 구현하기 위한 격자 설계와 이로부터 형성되는 field를 해석하기 위해 RCWA 방법을 이용하였다.

Beam focusing의 기본 원리는 그림 1과 같다. 각각의 격자에 대해, 격자 두께의 중앙과 격자의 groove와 ridge의 경계면에서 surface plasmon이 radiation 된다고 가정하고, 각각의 격자에서 radiation 되는 field 방향이 초점 거리로부터의 오차(f_{error})가 최소화되는 격자를 선택하여 배열하였다. 이와 같은 격자 선택을 위해 무한 두께의 금속(Ag) 표면에 굴절율 1.72, 높이 120nm인 유전체 격자의 주기를 227nm부터 348nm 까지 바뀌가면서 532nm 파장의 TM 입사 광원에 대한 공진 특성을 계산하였고, 그 결과는 그림 2와 같다. 그림 2에서 공진 각도의 (-)부호는 유도된 surface plasmon의 진행 방향과 radiation field의 횡축 진행 방향이 반대이기 때문이다⁽²⁾.

금속 표면으로부터 초점 거리가 $1.5\mu\text{m}$ 만큼 되도록 그림 2의 결과로부터 얻어진 격자 중, f_{error} 를 최소화하는 격자 11개를 선택하여 subwavelength metal slit 주변에 배열하였다. 이러한 구조로부터 형성되는 field의 intensity 분포는 그림 3(a)와 같다. 그림 3(a)에서 볼 수 있듯이, 초점은 $1.51\mu\text{m}$ 에서 맺히고, 초점 거리에서의 FWHM은 411nm 이다. 이와 같은 방식으로 초점 거리가 $1\mu\text{m}$ 와 $2\mu\text{m}$ 에서 맺히도

록 설계한 구조에서는 각각 $1.07\mu\text{m}$, $1.97\mu\text{m}$ 에서 초점이 맺혔고, 이로부터 앞서 가정한 사항들이 적절했음을 확인할 수 있었다. 또한 초점 거리가 $1.5\mu\text{m}$ 만큼 되도록 설계한 구조에서 격자의 개수를 11개에서 7개, 5개로 줄였을 경우, 초점 거리는 각각 $1.51\mu\text{m}$, $1.49\mu\text{m}$ 로 거의 변화가 없었으나 각각의 FWHM은 425nm , 450nm 로 증가하였다. 이는 angular Fourier spectrum 관점에서, 더 좁은 FWHM을 위해서는 더 많은 radiating source들이 필요하기 때문이다.

본 논문의 발표에서는 각 격자에서의 surface plasmon radiation에 의한 beam focusing 현상을 point source array에서의 phase modulation 관점에서 해석한 결과를 추가로 설명할 것이다.

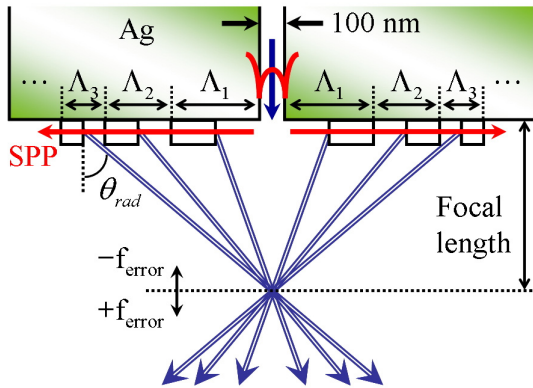


그림 1. Beam focusing의 기본적인 원리.

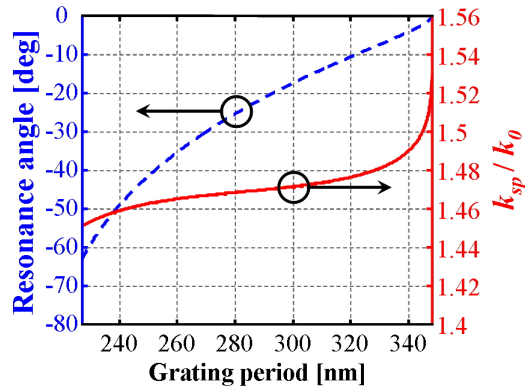
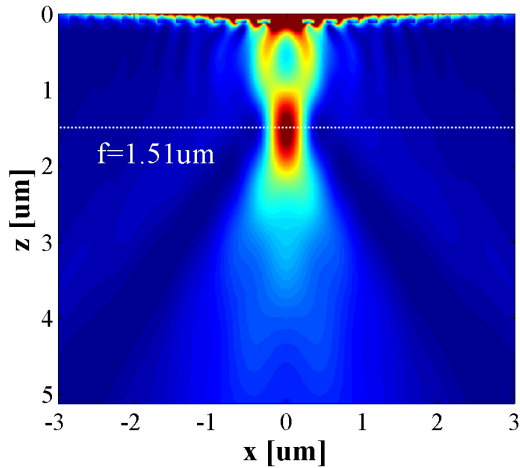
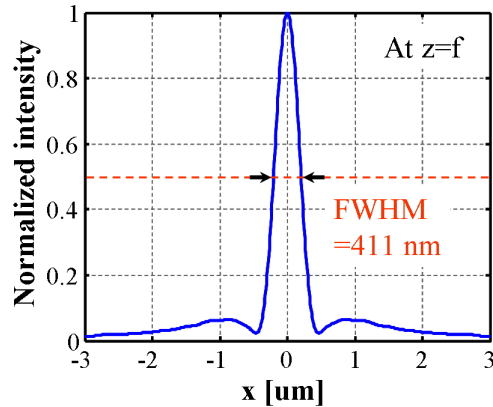


그림 2. 서로 다른 주기를 가지는 유전체 표면 격자들의 공진 특성.



(a)



(b)

그림 3. (a) 초점 거리가 $1.5\mu\text{m}$ 가 되도록 설계한 구조에 의해 형성된 field의 intensity 분포, (b) 형성된 초점의 FWHM.

* 본 연구는 과학기술부/한국과학재단의 창의적연구진흥사업(액티브 플라즈모닉스 응용시스템 연구)의 지원으로 수행되었음.

1. C. Genet and T. W. Ebbesen, "Light in tiny holes," Nature, vol. 445, pp. 39–46, 2007.
2. S. Kim, H. Kim, Y. Lim, and B. Lee, "Off-axis directional beaming of optical field diffracted by a single subwavelength metal slit with asymmetric dielectric surface gratings," Appl. Phys. Lett., vol. 90, 051113, 2007.