

## 나노 개구 광 근접장에서의 표면 플라즈몬 성분 분리

### Separation of the surface plasmon polariton contribution from the optical near field of a nano - aperture

양 달, 이재용\*, 한재원

연세대학교 기계공학부, \*한국표준과학연구원 나노바이오융합연구단

yangdahl@yonsei.ac.kr

광 근접장은 광 근접장 광 리소그래피 기술, 정보저장기술, 바이오 센싱 기술 등의 다양한 공학적 응용 분야가 있다.<sup>(1-4)</sup> 광 근접장의 활용을 위한 연구가 활발히 진행되면서 광 근접장에 대한 물리적인 이해가 필요하게 되었다. 특히 광 근접장에서 강한 전자기장을 형성하는 표면 플라즈몬 파에 대한 연구가 주목되고 있다.<sup>(1,2)</sup> 대개 표면 플라즈몬은 금속 표면 플라즈몬 파의 파장주기를 갖는 반복적인 패턴 구조를 이용하는 방법으로 발생된다. 그러나 고립된 단일 원형 나노 개구에서도 표면 플라즈몬 파가 발생한다는 연구결과가 발표되면서, 표면 플라즈몬 성분이 근접장 회절 성분과 분리 가능하고 단일 나노 개구의 광 근접장 출력 증가에 큰 영향을 미친다는 사실도 보고되었다.<sup>(5)</sup> 광 근접장을 분리하는 방법으로는 Fourier-Bessel 식에 기반한 Fast Fourier Factorization 수치해석법이 사용되었다.

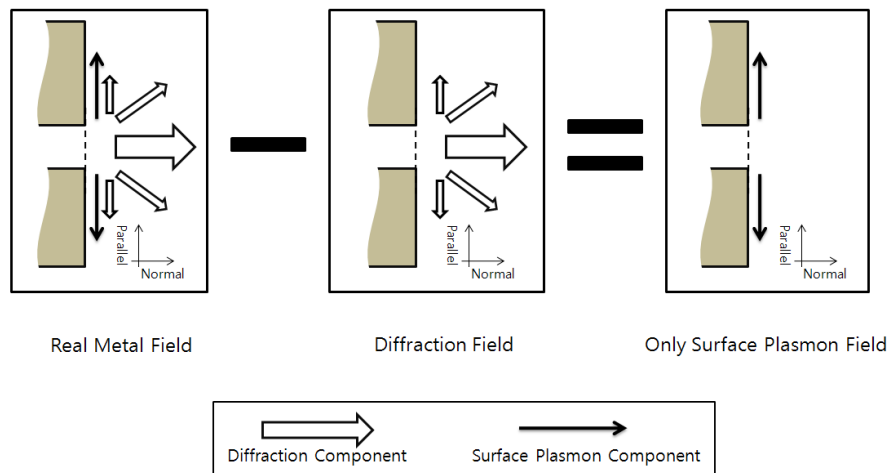


그림 1. 광 근접장 회절장과 표면 플라즈몬 성분의 분리 개념도.

본 연구에서는 단일 나노 개구를 통과한 빛의 광 근접장 성분 중 회절성분과 표면 플라즈몬 성분을 나누어 분석할 수 있는 새로운 방법을 제안한다. Fourier-Bessel 식에 의존한 종래의 표면 플라즈몬 성분을 분리 방법이 원형 개구에 한정되는 것과 달리, 본 방법은 원형 개구 이외의 일반적인 개구 형태에 적용이 가능하다는 장점이 있다. FDTD (finite difference time domain) 방법을 통해 구한 회절장 및 표면 플라즈몬 장을 포함하는 광 근접장 결과로부터, 회절 성분만을 가지는 PEC (perfect electric conductor) 금속 개구의 광 근접장을 빼서 표면 플라즈몬 장을 얻는다. 그림. 1은 제안한 방법의 개념을 보여주고 있으나, 단순히 금속의 광 근접장에서 PEC 광 근접장을 빼주는 것만으로 표면 플라즈몬 장을 구할 수는 없다. 이는 광파가 실제 금속 개구를 통과하면서, 금속의 흡수로 인해 세기가 감소되고 금속

개구와 유전체 사이의 경계면에서의 전자기장 섭동 때문에 개구에서의 회절광 세기와 형상이 동일하지 않기 때문이다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해서 보정된 PEC 개구형을 사용한다.

500 nm 파장의 입사광에 대한 지름 250 nm의 금속(복소 굴절률,  $0.52 + 2.88j$ ) 원형 개구 투과 근접장으로부터 표면 플라즈몬 장을 분리하였으며, 제안한 방법의 타당성을 검증하기 위하여 동일 조건의 기존 연구에서 제시된 표면 방향으로의 표면 플라즈몬 감쇠 곡선과 비교하였다. 그림. 2에서 알 수 있듯이 잘 일치된 결과를 얻을 수 있었다. 이를 근거로 하여, 원형이 아닌 형태의 나노 개구에 대하여 표면 플라즈몬 성분과 회절 성분의 분리에 본 연구에서 제안된 방법을 적용하였다. 외곽 크기 120 nm x 80 nm, 리지(ridge) 크기 40 nm x 40 nm, 두께 200 nm를 가지는 Al 재질 C-형 개구에서의 405 nm 파장의 광 근접장을 분석하였다. 그림. 3은 고효율 나노개구로 알려진 C-형 나노개구의 광 근접장 표면 플라즈몬 성분을 분리해낸 결과이다. 표면 플라즈몬 성분이 C-형 개구의 리지 근처에서 강하게 발생하는 것이 관찰되며, 이 표면 플라즈몬 성분이 C-형 개구의 특이한 광 근접장 출력증가에 큰 기여를 한다는 것을 알 수 있다.

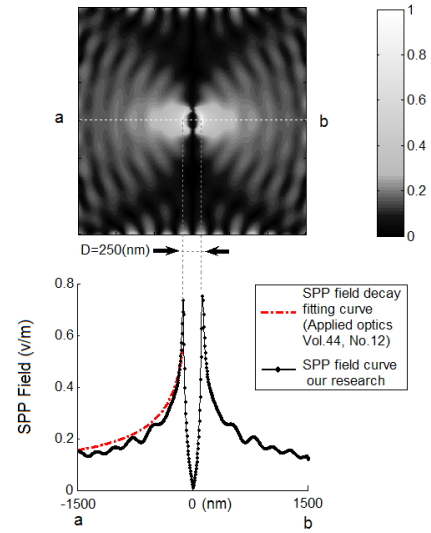


그림 2. 250 nm 금속 원형 개구 근접장의 표면 플라즈몬 성분

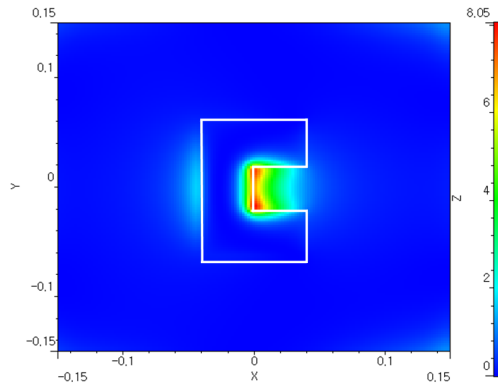


그림 3. C-형 금속 개구 근접장의 표면 플라즈몬 성분 세기 공간 분포.

참고 문헌

[1] N. P. Wanstall, T. W. Preist, W. C. Tan, M. B. Sobnack, and J. R. Sambles, J. Opt. Soc. Am. A, **15**, 2869–2876 (1998).  
 [2] F.J.García-Vidal, L.Martin-Moreno, Esteban Moreno, L.K.S.Kumar, and R.Gordon, Phys. Rev. B, **74**, 153411 (2006).  
 [3] N. Pustovit and Tigran V. Shahbazyan, J. Opt. Soc. Am. A, **23**, 1369–1374 (2006).  
 [4] Xiangang Luo and Teruya Ishihara, Opt. Exp. **12**, 3055–3065 (2004).  
 [5] Evgeny Popov, Nicolas Bonod, Michel Neviere, Herve Rigneault, Pierre-Francois Lenne, and Patrick Chaumet, Appl. Opt. **44**, 2332–2337 (2005).