

근접장 증폭을 이용한 가간섭 EUV 생성

Coherent EUV Generation using the Local Field Enhancement

진중환, 김승철*, 박인용*, 최준희*, 김승우*

KRISS 기반표준본부 길이시간센터, *KAIST 기계공학과

jonghan@kriss.re.kr

극자외선(EUV)은 파장이 10 nm ~ 120 nm 대역의 전자기파로써 400 nm ~ 700 nm의 가시광대역보다 상대적으로 파장이 짧아 회절한계 측면에서 유리하다. 이러한 장점으로 특히 반도체 공정에서 차세대 노광을 위한 새로운 광원으로 고려되어지고 있다. 또한 EUV 대역을 수 nm 또는 그 이하의 X선 영역까지 확장함으로써 좋은 투과 특성을 이용한 비파괴 검사나 바이오 공학에서의 실시간 세포 측정 등의 다양한 분야에 대한 응용 가능성을 갖고 있다.

하지만 간섭이나 회절 원리를 바탕으로 높은 측정 분해능과 불확도를 얻기 위해서는 가간섭성이 필수적으로 요구되고 있으며, 이를 충족시키면서 EUV 및 X선을 생성하는 가장 일반적인 방법은 가속기를 이용하는 것이다. 가속기는 높은 광량과 넓은 대역의 EUV 및 X선을 생성할 수 있는 장점을 갖고 있으나 시설이 방대하고 설치 및 유지 비용이 높아 일반적으로 실험실 단계에서 구축하는 것은 현실적으로 어렵다. 최근에는 10^{13} W/cm² 이상의 광강도를 갖는 강한 빛을 비활성 기체에 입사시켜 고차 조화파를 생성할 수 있는 방법인 고차 조화파 생성(high-harmonic generation)이 제안되었고, 실험적으로 강한 첨두 출력을 갖는 펨토초 레이저를 CPA(chirped pulse amplification) 방법을 통해 증폭하여 비활성 기체에 입사시킴으로써 좀 더 간단한 구조의 가간섭 EUV 및 X선 광원을 구현하였다⁽¹⁾.

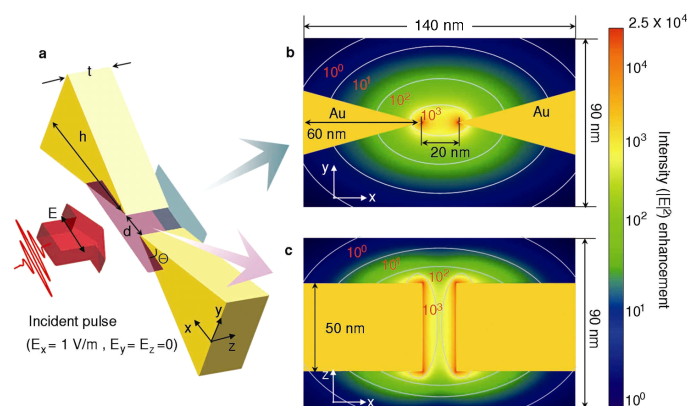


Fig. 1 FDTD simulation result for a bow-tie pattern⁽⁵⁾

본 연구에서는 고차 조화파 생성에 충분한 광량을 확보하기 위해 펨토초 레이저를 기존의 CPA 증폭 방법이 아닌 근접장 증폭(local field enhancement) 원리에 적용하였다. 사용한 펨토초 레이저는 800 nm의 중심파장, 75 MHz의 반복률을 갖고 있으며, 펄스당 에너지

는 1.3 nJ, 광강도는 $\sim 10^{11}$ W/cm² 이다. 이는 최소 20 dB 이상의 증폭을 통해 고차 조화파를 생성할 수 있으며, 이를 위해 근접장 증폭이 가능하도록 bow-tie 형태의 미세 패턴을 설계 및 제작하였다.^(2,3) 이 미세 패턴은 bow-tie의 두께(t), 두 삼각형 사이의 간격(d), 삼각형의 높이(h)와 각도(θ)를 설계 변수로 두고, FDTD(Finite-Difference Time Domain) 방법을 통해 여러 차례의 반복 시뮬레이션을 통해 20 dB 증폭이 얻어지는 공간이 최대가 되는 것을 목표로 하였다. Figure 1과 같이 반복 시뮬레이션과 제작 가능성을 고려하여, 두께(t)는 50 nm, 두 삼각형 사이의 간격(d)은 20 nm, 삼각형의 높이(h)와 각도(θ)는 각각 175 nm, 30 도로 선정하였다. 이를 통해 bow-tie 구조물의 중심 부분의 약 60 nm \times 50 nm \times 50 nm 공간 내에서 20 dB 이상의 증폭을 얻을 수 있다. Figure 2는 Focused ion beam (FIB) 방법을 통해 제작된 근접장 증폭을 위한 미세 패턴의 SEM 사진이다.

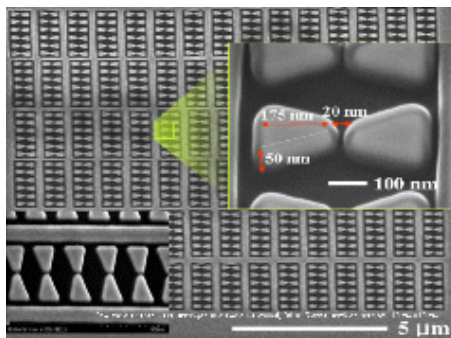


Fig. 2 SEM image of a nano-structure for local field enhancement⁽⁵⁾

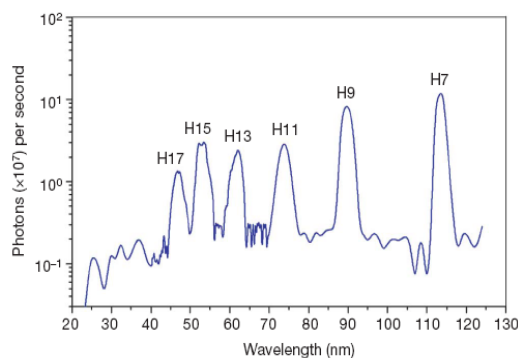


Fig. 3 Spectrum of Generated High-Harmonics⁽⁵⁾

EUV생성을 위해 펨토초 레이저에서 나온 빛은 Fig. 2와 같은 미세 패턴의 10 μ m \times 10 μ m 영역에 집광되고 증폭되며, Ar 기체와 상호 작용하여 고차 조화파를 생성하게 된다. Figure 3은 분광기를 통해 얻은 스펙트럼이며, 17차 성분(약 47 nm)까지 생성되는 것을 확인하였다⁽⁴⁾. 본 연구는 다양한 기초 연구 및 응용 분야에서 간단한 구조를 갖는 가간섭 EUV광원을 확보하는데 있어 중요한 의미를 갖는다.

※ 본 연구는 2008년 한국과학재단 '창의적 연구진흥 사업'의 지원으로 KAIST BUPE연구단에서 수행되었습니다.

1. Chang, Z., Rundquist, A., Wang, H., Murnane, M. M., and Kapteyn, H. C., "Generation of Coherent Soft X Rays at 2.7 nm Using High Harmonics," Physical Review Letters, 79(16), 2967-2970 (1997)
2. Onuta, T., Waegele, M., DuFort, C. C., Schaich, W. L., Dragnea, B., "Optical Field Enhancement at Cusps between Adjacent Nanoapertures," Nano Letters, 7(3), 557-564 (2007)
3. Jin, E. X. and Xu, X., "Enhanced optical near field from a bowtie aperture," Applied Physics Letters, 88, 153110-1-3 (2006)
4. Kim, S., Jin, J., Kim, Y.-J., Park, I., Kim, Y., "High-harmonic generation by resonant plasmon field enhancement," Nature, 453, 757-760 (2008)