

Cu 나노 실선의 크기에 따른 표면 플라즈몬 산란 특성

Size Effects of Surface Plasmon Scattering of Cu Nanowires

임상엽, 최무현*, 박장우*, 안홍규**, 주홍렬**, 박승한**

광주과학기술원 고등광기술연구소, *한밭대학교 응용화학생명공학부, **연세대학교 물리학과

syim@gist.ac.kr

최근 들어, 나노 입자 및 나노 실선 등에 의한 표면 플라즈몬 공명 효과에 관한 연구가 매우 활발히 진행되고 있다. 특히 Au, Ag 와 같은 귀금속 물질로 형성한 나노 실선은 강한 표면 플라즈몬 효과를 보일 뿐만 아니라 산업적으로도 응용 가능성이 크기 때문에 매우 큰 관심을 끌고 있다. 나노 실선의 응용 분야로는 나노 전자 시스템에 들어가는 interconnect, 나노 실선을 광 도파로로 이용하는 나노 광 통신 채널, 나노 실선에 의한 생체 시료 검출 신호의 증대 등을 들 수 있다⁽¹⁾.

잘 알려진 바와 같이, Au, Ag, Cu 등 귀금속의 광학적 특성은 d 와 sp 띠 사이의 구속 전자 전이로 인해 알칼리 금속과 큰 차이를 보인다. 이와 같은 띠간 흡수 때문에 실제 유전 함수는 단순한 Drude 자유 전자 모델과는 차이를 드러내는데, 특히 가장 중요한 결과는 벌크 플라즈몬 공명의 편이이다. Ag의 경우 자유 전자 모델에 의한 추론치는 9.2 eV 인데 반해 실제 벌크 플라즈몬 공명은 약 3.8 eV 까지 내려온다. 따라서 파장 크기보다 매우 작은 Ag 나노 입자가 보이는 Mie 산란 공명 역시 3.6 eV 정도에서 일어나게 된다. 이때 Ag의 $d-sp$ 띠간 흡수는 3.9 eV에서 시작하기 때문에 표면 플라즈몬 공명에 별다른 영향을 주지 않고, 그 결과 매우 강한 표면 플라즈몬 산란이 발생한다⁽²⁾.

하지만 파장보다 매우 작은 Cu 나노 입자의 경우, 표면 플라즈몬 공명 위치가 2.1 eV 로서 공교롭게도 Cu의 $d-sp$ 띠간 흡수와 일치한다. Cu 나노 입자는 Ag나 Au에 비해 표면 플라즈몬 공명이 매우 약하다. 이러한 까닭에 금속 나노 실선에 관한 연구는 주로 Au나 Ag 나노 실선에 국한되어 있는 실정이다. 본 연구에서는 Au, Ag처럼 귀금속 이면서 비슷한 특성을 보이는 Cu로 나노 실선을 제조하고, Cu 나노 실선의 직경 크기에 따른 산란광을 측정하였다.

실험은 이전 연구에서 발표한 바와 같이 전반사 현미경을 이용한 산란광 스펙트럼 측정 장치를 이용하여 수행하였다. 각각의 Cu 나노 실선은 충분히 떨어져 있을 뿐만 아니라, 고분해능 현미경 장치를 이용함으로써 개별 나노 실선에서 발생하는 산란광을 측정할 수 있었다⁽³⁾. 이전 연구에서 밝힌 바와 같이 나노 실선은 조사광의 편광이 나노 실선과 수직인 경우에 강한 산란광이 측정된다.

크기에 따른 Cu 나노 실선의 표면 플라즈몬 산란 특성을 관측하기 위해서 여러 개의 단일 나노 실선을 선택하여 스펙트럼을 얻었다. 측정 결과, 표면 플라즈몬 봉우리는 나노 실선의 직경이 증가함에 따라 매우 분명한 적색 편이를 보였다. 예상했던 바와 같이 직경이 파장보다 매우 작은 나노 실선의 경우 표면 플라즈몬 봉우리가 상대적으로 약하고 묻혀 있어 분간하기가 어려웠다. 하지만 직경이 점차 커질수록 표면 플라즈몬 봉우리가 더 분명하고 강하게 드러났고, 나노 실선의 직경이 ~300nm 인 경우 산란 봉우리 크기가 동일 실험 조건 하에서 1-2 차수 정도까지 높아지는 것을 확인하였다. 산란 실험이 끝난 후에, 각각의 Cu 나노 실선은 SEM 영상을 찍어 정확한 직경을 얻었으며, 이

를 통해 나노 실선의 직경에 따른 표면 플라즈몬 산란 효과의 변화를 측정할 수 있었다. 그림 1은 85 nm 직경의 나노 실선과 302 nm 직경의 나노 실선에 의해 발생한 표면 플라즈몬 산란 스펙트럼을 비교한 것이다. 일반적으로는 표면 플라즈몬 공명이 매우 약한 Cu 나노 실선의 경우에도 나노 실선의 직경이 파장 크기에 비근한 정도가 될 경우 표면 플라즈몬 공명이 적색 편이하면서 강하게 발생함을 보였다. 이는 나노 실선의 크기가 커짐에 따라 위상 지연 효과에 의해 표면 플라즈몬 공명이 적색 편이하면서 띠간 흡수 대역을 벗어나기 때문에 강한 산란광이 발생하는 것으로 생각된다. Cu 나노 실선의 적색 영역 표면 플라즈몬 효과는 생체 라벨이나 나노 바코드 등 다양한 응용이 가능할 것으로 예상된다.

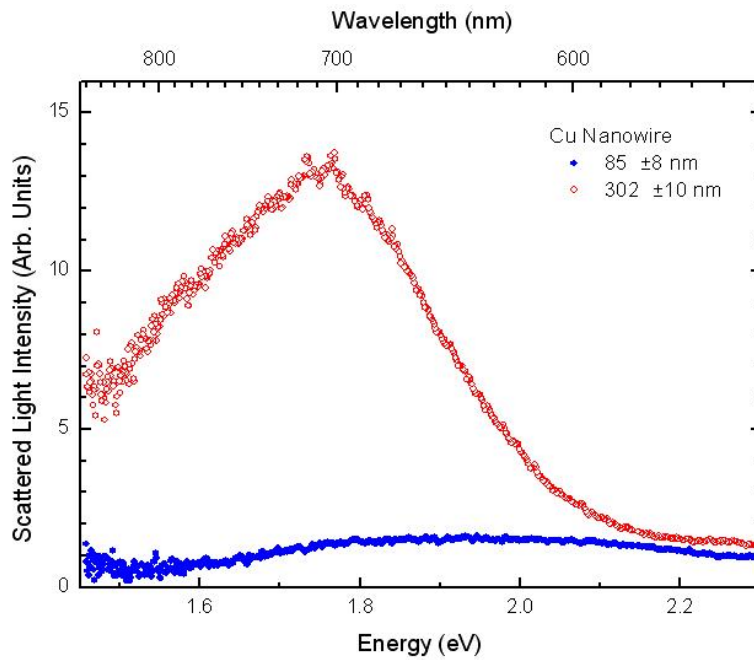


그림 1. 직경에 따른 나노 실선의 표면 플라즈몬 산란 스펙트럼

1. M. Barbic, *et al.*, "Single crystal silver nanowires prepared by the metal amplification method," *J. Appl. Phys.* **91**, 9341–9345 (2002).
2. U. Kreibig and M. Vollmer, *Optical Properties of Metal Clusters*, (Springer, 1995).
3. 임상엽, 안홍규, 김경환, 최무현, 박장우, 주홍렬, 박승한, "단일 Cu 나노 실선의 표면 플라즈몬 효과와 형광 특성 측정," 2007년도 한국광학회 동계학술발표회 (2007. 2. 8–9).