

단일 Cu 나노 실선의 표면 플라즈몬 효과와 형광 특성 측정

Surface Plasmon and Photoluminescence of Single Cu Nanowires

임상엽*, 안홍규*, 김경환*, 최무현**, 박장우**, 주홍렬*, 박승한*

*연세대학교 물리학과, **한밭대학교 응용화학과

syim@phy.yonsei.ac.kr

최근 들어 금속 나노 실선의 표면 플라즈몬 효과에 관한 연구가 매우 활발히 이루어지고 있다. 나노 실선의 광학적 특성에 관한 연구는 아직까지 초기 단계이기 때문에 과학적으로 매우 흥미로울 뿐만 아니라, 나노 실선의 여러 응용 가능성 때문에 매우 중요하다. 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⁾.

하지만 금속 나노 실선에 관한 연구는 주로 Au나 Ag 나노 실선에 국한되어 있고, 대부분의 광 특성 측정 또한 국소화된 표면 플라즈몬 공명 현상을 관측하는 데에 그치고 있는 실정이다. 본 연구에서는 Au, Ag처럼 귀금속이면서 비슷한 특성을 보이는 Cu로 나노 실선을 제조하고, 산란광을 측정하였다. 특히 나노 실선의 축 방향에 따라 표면 플라즈몬 공명 조건이 달라지므로, 스펙트럼이 변함을 확인할 수 있었다. 무엇보다도 단일 Cu 나노 실선의 형광을 마이크로 형광 방법으로 측정하여 이미징하였다.

본 연구에서 사용한 시료는 다른 촉매나 매개체가 필요 없는 화학적 용액법으로 제조하였다. TEM 측정 결과 Cu 나노 실선은 일정한 직경의 단결정 실선으로 잘 성장되었음을 확인하였다. 직경 크기는 나노 실선마다 차이가 있었으며, 약 50nm에서 100nm 사이의 값을 보여주었다. 제조된 나노 실선은 적당한 농도로 만든 후 깨끗이 세척한 유리 기판 위에 한 방울 떨어뜨려 용매를 말린 후 광 특성 측정을 하였다. 현미경으로 관찰한 결과, 개개의 나노 실선이 충분히 멀리 떨어져 있어서 단일 나노 실선 측정이 가능함을 확인하였다.

Cu 나노 실선의 광학적 특성을 측정하기 위해 그림 1처럼 장치를 구성하였다. 표면 플라즈몬 공명 산란을 측정하기 위해 나노 실선이 올라간 유리 기판을 프리즘 위에 굴절을 매칭 기름으로 접착한 후 나노 실선 기판 면에서 전반사 조건이 성립되도록 백색광을 조사하였다. 백색광 조사 장치 앞단에는 선형 편광자를 설치하여 편광에 따른 광 특성 측정이 가능하도록 하였다. 산란광은 대물렌즈를 통해 확대하여 관측할 수 있고, 동시에 분광기로 보내져 ICCD로 스펙트럼을 얻었다. 전반사 현미경의 장점은 나노 실선의 표면 플라즈몬 공명에 의한 산란을 독립적인 개개의 단일 나노 실선에서 얻는 데에 있다. 그림 2에서 보는 바와 같이 조사광의 편광이 나노 실선과 수직인 경우에는 국소화된 표면 플라즈몬이 여기된 후 relaxation할 때 일부가 빛으로 방출되기 때문에 강한 산란광이 측정된다.

한편 표면 플라즈몬 공명에 의한 산란광 측정에 병행하여 Cu 나노 실선의 형광 스펙트럼을 측정하였다. 일반적으로 금속막은 형광 효율이 10^{-10} 정도로 매우 약하다. 금속에서 발생하는 형광에 관한 연구가 드문 이유는 매우 낮은 효율 때문에 별다른 관심을 끌지 못해서이다. 하지만 금속이 나노 크기로 작아지면 형광 효율이 10^{-6} 정도까지 증대된다. 본 연구에서는 현미경을 이용한 마이크로 형광 측정 장치

를 꾸며 단일 Cu 나노 실선에서 나오는 형광을 측정하였다. 100× 대물렌즈로 Ar 레이저 빔을 집속하여 시료를 여기시킨 후 나노 실선에서 나오는 형광을 역시 분광기를 거쳐 ICCD로 분광하였으며, 나노 변위기로 평면상을 주사하여 이미징을 하였다. 그림 3은 10 μm ×10 μm 를 주사하여 얻은 Cu 나노 실선의 형광 영상이다. Cu 나노 실선의 형광 측정은 나노 실선의 광학적 특성을 측정하는 매우 유용한 새로운 도구가 될 것이다.

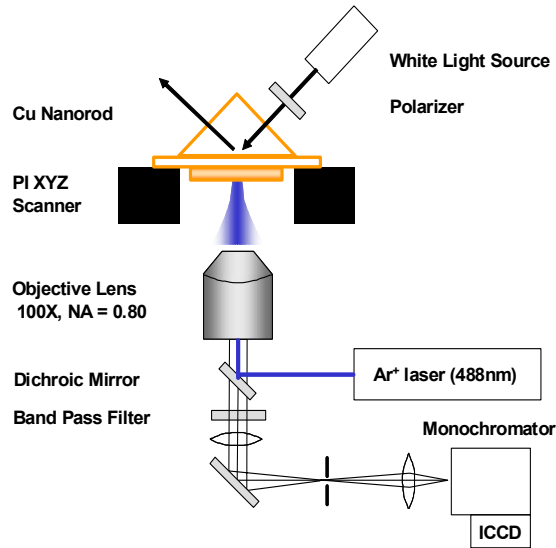


그림 1. TIR Microscopy & μ -PL setup

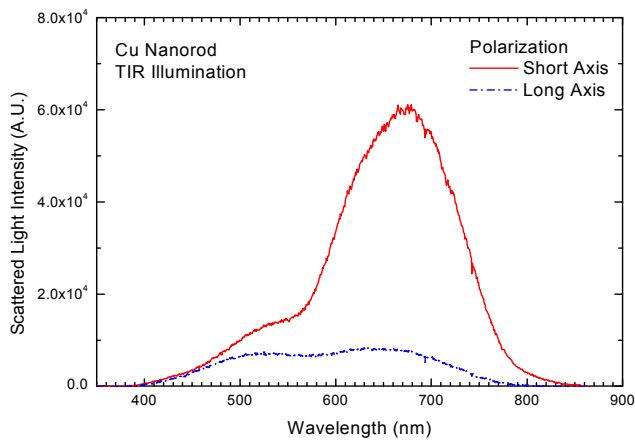


그림 2. 표면 플라즈몬 공명 스펙트럼

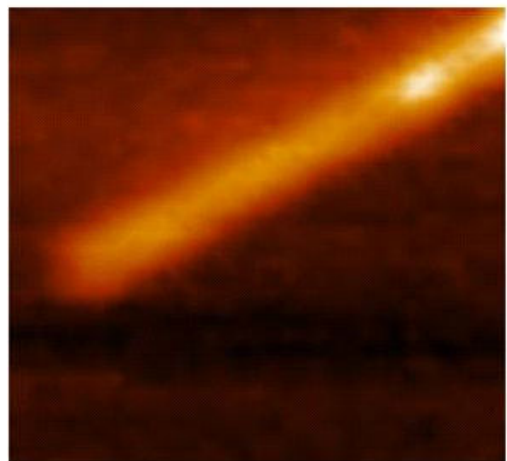


그림 3. 나노 실선의 형광 영상

1. M. Barbic, et al., "Single crystal silver nanowires prepared by the metal amplification method", J. Appl. Phys. 91, 9341–9345 (2002).