

1차원 은 격자 구조의 편광 특성

Polarization property of one-dimensional Ag grating structure

양진규, 황인각, 이용희
한국과학기술원 물리학과
jin9yang@kaist.ac.kr

최근에 다양한 금속 박막 구조에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있는데 그 이유는 금속과 유전체 또는 공기와의 경계면에서 표면 플라즈몬(surface plasmon, SP)이 생성되기 때문이다.⁽¹⁾ 특히 격자 구조의 경우 주기적인 구조로 인해 표면 플라즈몬 밴드갭(SP band-gap)이 생성되는데⁽²⁾ 이를 이용하여 보다 작은 크기의 소자를 제작할 수 있을 것으로 기대된다. 본 실험에서는 표면 플라즈몬이 생성될 수 있는 1차원 은 격자 구조를 제작하고 편광에 따른 투과율을 측정하였다. 또한 2차원 유한 시간 미분법(Finite-Difference Time-Domain method)을 이용하여 모의실험을 수행하여 편광 특성을 연구하였다.

실험에서 사용한 1차원 은 격자 구조는 그림 1.(a)에서와 같이 유리 위에 얇게 증착된 ITO 층 위에 1차원 은 막대를 주기적으로 배열한 것이다. 제작 방법은 다음과 같다. PMMA가 증착된 ITO 기판위에 전자빔 식각방식을 이용하여 1차원 격자를 제작하고 그 위에 금속을 얇게 증착한 후 리프트 오프(lift-off) 방식을 통해 은 격자 구조를 제작하였다. 그림 1.(b)는 실제 제작된 은 격자구조의 전자현미경 사진이다. 격자의 주기는 350nm 이고 은 막대의 높이는 약 70nm 정도이다. 제작된 시료를 가지고 투과율을 측정하였다. 이때 투과율은 격자 구조에서의 투과 빛을 구조가 없는 부분의 투과 빛으로 나뉘준 값으로 ITO나 유리의 흡수 효과는 고려하지 않았다. 그림 2는 편광에 따른 투과율을 측정한 결과이다. 이때 입사 빛은 격자 구조에 수직하게 입사하였다. 편광 방향이 금속 격자 방향과 수평일 경우(S-polarization) 은 막대의 폭에 상관없이 510nm 부근에서 공진에 의한 투과율의 급격한 변화가 발견되었다. 은 막대의 넓이가 넓어짐에 따라 장파장 쪽의 투과율이 낮아지는 경향을 나타내는데 이는 은 막대의 자유 전자 때문에 입사된 빛이 흡수되기 때문으로 이해된다. 입사하는 빛의 편광이 금속 격자의 방향과 수직일 경우(P-polarization) 단파장에서 복잡한 투과율 변화를 보이다가 장파장 영역으로 갈수록 거의 1에 가까움을 확인하였다. 이는 은 격자 구조에 수직으로 편광될 경우 자유 전자의 움직임이 막대의 유한한 폭에 의해 제한되기 때문에 흡수가 거의 일어나지 않기 때문으로 이해된다. 550nm 영역에서의 공진 현상은 은 막대의 폭이 넓어짐에 따라 장파장 쪽으로 중심 파장이 이동하며 완만해지는 경향을 보였다.

은 격자 구조의 편광에 따른 투과특성을 이해하기 위해 주기적 FDTD 방법을 이용한 전산모사를 수행하였다. 그림 3에 나타난 S-polarization에서의 투과율을 살펴보면 은 막대의 폭이 변화하여도 공진 파장은 변하지 않음을 알 수 있다. 단 폭이 넓어짐에 따라 은의 흡수율 때문에 장파장으로 갈수록 투과율이 떨어지는데 이는 실험과 같은 결과이다. 은 격자의 주기가 바뀌면 공진 파장도 변화하는데 이런 사실로부터 공진의 원인이 바로 격자에 의한 회절 효과임을 알 수 있다. P-polarization에서의 투과율을 살펴보면 장파장 영역에서 1에 가깝게 나타남을 알 수 있는데 이는 빛이 은 막대와 수직하게 진동함으로 흡수가 일어나지 않음을 나타낸다. 단파장 영역에서의 복잡한 투과율 변화는 그 영역에서의 전기장 분포를 살펴보면 알 수 있는데 그림 4에 나타난 전기장 분포를 보면 투과율이 최저점일 경우 ITO와 은 막대의 경계면에 존재하는 표면 플라즈몬이 생성되었고 투과율이 최고점일 경우 공기와 은 막대의 경계면에 존재하는 표면 플라즈몬이 생성되었다. 이처럼 p-polarization의 경우 단파장 영역에서 복잡한 투과율 곡선이 나타나는 원인은 표면 플라즈몬에 의한 공진효과임을 알 수 있다.

이상에서 살펴보듯이 은 격자 구조를 사용하여 입사 편광에 따라 투과율을 바꿀 수 있는데 표면 플라즈몬 현상을 이용할 경우 특정 파장에서의 편광기로서 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

1. W. L. Barnes, A. Dereux, and T. W. Ebbesen, Nature (London) 424, 824 (2003).
2. S. C. Kitson,, W. L. Barnes, and J. R. A. Sambles, Phys. Rev. Lett. 77, 2670 (1996).

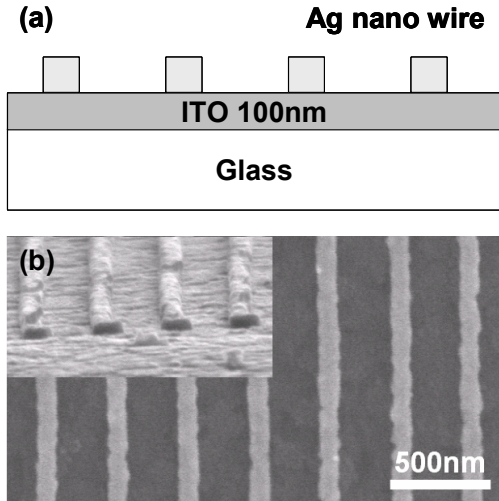


그림 1. 1차원 은 격자 구조
(a) 개략도 (b) 전자현미경 사진

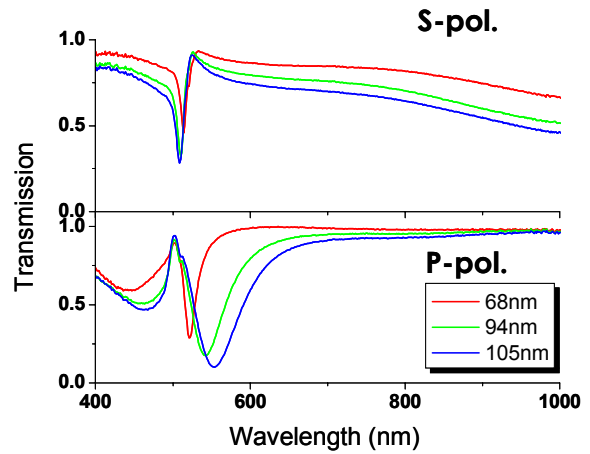


그림 2. 다양한 두께의 금속 격자 구조에서 편광에 따른 투과율 스펙트럼

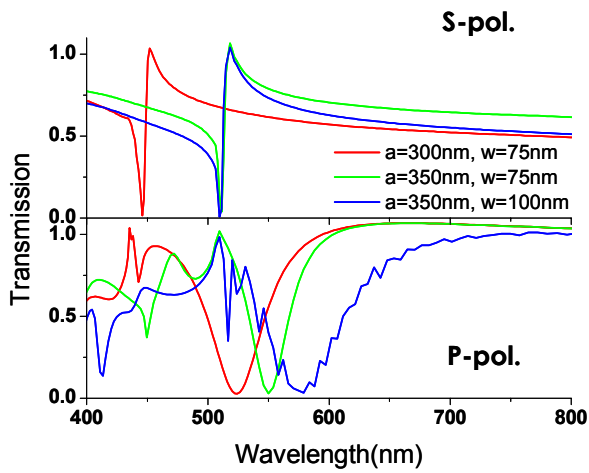


그림 3. 주기적 FDTD 방법을 이용한 입사편광에 따른 투과율.

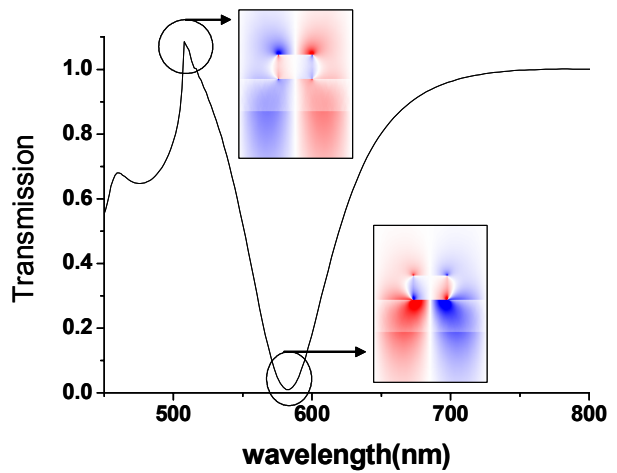


그림 4. P-polarization 투과율에서의 z축 전기장 분포도