

Silica nanospheres의 3차원 광결정 구조

3-D fcc Photonic Bandgap Structure of Silica Nanospheres

우연경, 하나영, 황지수, 장혜정, 우정원+
 이화여자대학교 물리학과
 +e-mail: jwwu@ewha.ac.kr

광결정(photonic crystal)은 주기적인 유전율 차이를 가지고 있는 인공적인 광학 물질이다. 그래서 이러한 광결정을 지나가는 전자기파는 마치 반도체와 같은 밴드갭을 가지게 된다. 우리는 silica nanosphere를 사용해서 자연의 보석 중, opal과 유사한 3차원 fcc(face-centered cubic) structure를 가지는 광결정을 만들었다.

평평한 유리기판을 용액에 수직으로 담근 후, 용액을 상온에서 증발시키면 자기 조립 방법(self-assembly method)으로 광결정이 만들어진다.[1] 용액은 지름이 200nm인 silica nanosphere를 에탄올에 적당한 농도로 분산시켜 사용했다. 이렇게 만들어진 광결정의 구조는 그림 1에서 보듯이 fcc 구조임을 SEM으로 확인할 수 있다. 광학현미경으로 확인한 결과, fcc opal single domain의 크기는 30μm에서 125μm로 비교적 크게 잘 만들어졌음을 알 수 있다.

UV-VIS. 투과 스펙트럼에서 입사각을 변화하면 밴드갭의 위치가 움직이며, 이는 식 (1)과 같은 Bragg's law를 잘 만족함을 관찰했다. (그림 2)

$$\lambda_{max} = 2d(n_{eff}^2 - \sin^2 \theta)^{1/2}, \lambda_{max} : peak\ 의\ 위치, d : 층간격, n_{eff} : 유효굴절율, \theta : 입사각 \quad (1)$$

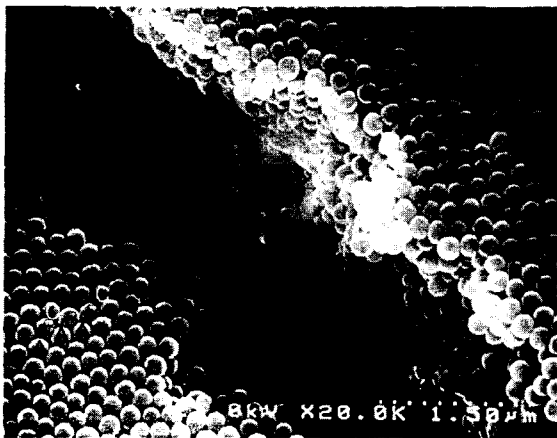


그림 1. Cross sectional SEM image (fcc structure - ABCABC...)

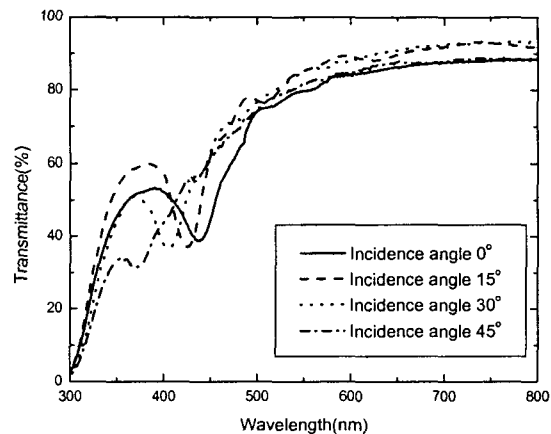


그림 2. 입사각에 따른 fcc opal의 투과도의 변화

우리는 관찰한 Bragg peak을 이론적으로 분석하기 위하여 SWA(scalar wave approximation)을 도입하였다. 이는 매질 내에서 전기장을 벡터가 아닌 스칼라량으로 취급하여 결정을 통과한 후 빛의 투과도가 달라짐을 예측한 것이다.[2]

그림3은 빛이 fcc 광결정의 L-point를 따라 진행할 때 부피비 f (packing fraction)와 굴절율 대비 ϵ_c (dielectric contrast)에 따른 밴드갭의 폭 $\Delta\omega/\omega_c$ (stop bandwidth)의 변화를 예상한 것이다.[3] 이렇게 SWA로 예측한 밴드갭의 위치와 폭은 그림 4에서처럼 실험결과와 매우 잘 맞으며, 이로써 nanosphere를 쌓아서 만든 3차원 광결정 구조를 매우 잘 설명할 수 있다.

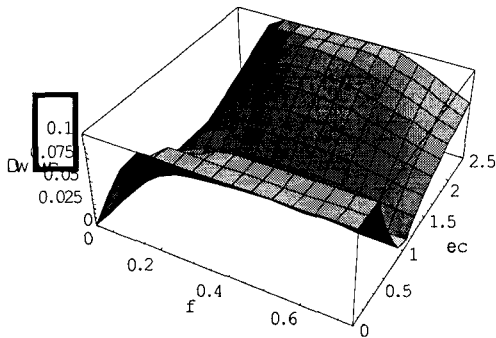


그림 3. fcc 광결정에서 L-point로 진행할 때 부피비율(f)과 유전율 대비(ϵ_c)에 따른 밴드갭의 폭($\Delta\omega/\omega_c$)의 의존도

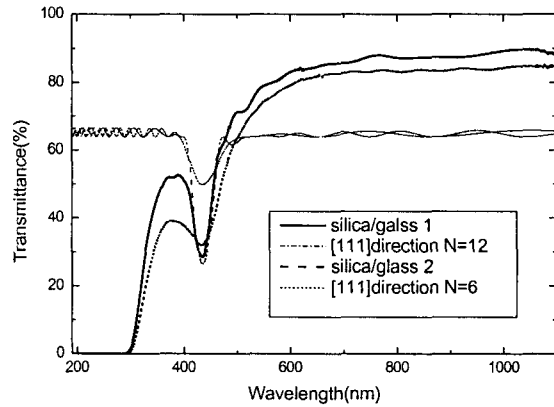


그림 4. fcc opal에 빛이 수직 입사일 때 실험값과 이론값의 투과도 비교 (실험값(—, ---), 이론값(-·-,···))

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었습니다.(KRF-2002-042-C00024)

참고문헌

1. P. Jiang, J. F. Bertone, Chem.Mater. **11**, 2132 (1999)
2. I. Inanc Tarhan, George H. Watson, Phys. Rev. B **54**, 7593 (1996)
3. Daniel M. Mittleman, J. F. Bertone, J. Chem. Phys. **111**, 345 (1999)