

일차원 광결정 공진기에서 레이징 모드의 전기적 조절

Electric Control of Defect Mode Lasing in a One-dimensional Photonic Crystal Cavity

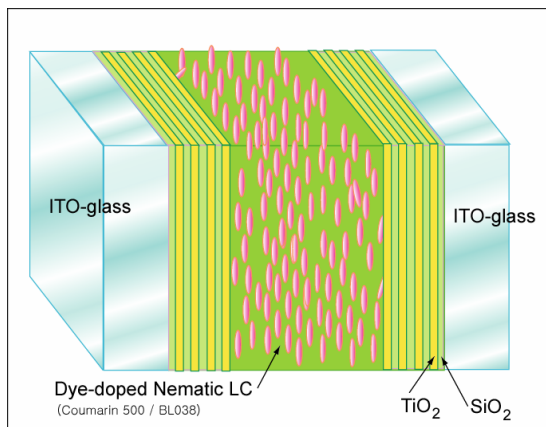
이중구, 김민정, 최현희, 우정원
 이화여자대학교 물리학과
jglee@ewha.ac.kr

이지훈, 임동건
 고려대학교 물리학과

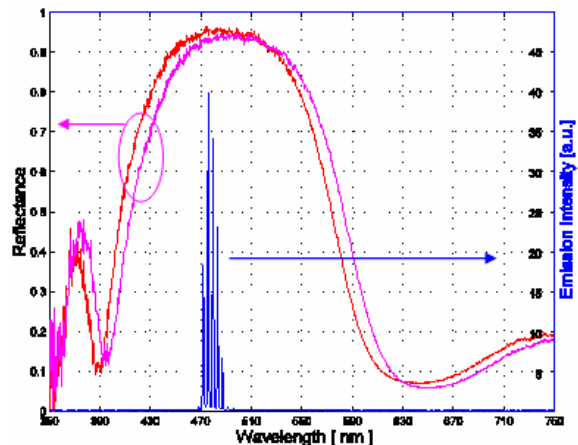
일차, 이차, 혹은 삼차원으로 광학적 파장의 주기적인 유전체들의 배열을 갖는 광결정 (photonic crystal)은 광자 (photon)의 어떤 에너지 영역의 존재를 금지하는, 즉 광 띠틈간격 (photonic bandgap)⁽¹⁾ 을 갖는 특성을 갖는다. 그러한 띠틈간격 구조는 여러 가지 매우 효과적인 응용이 고려되고 있다. 특히 지난 몇 년 동안 그러한 띠틈간격을 가진 일차, 이차, 혹은 삼차원 광결정을 이용한, 레이저 공진을 형성하는 외부거울 없는, 레이징이 연구되어오고 있다.⁽²⁻⁵⁾

본 연구에서는 염료가 첨가된 액정이 담겨져 있는 두 개의 일차원 광결정 구조에서 여러 개의 레이징 모드들의 생성할 수 있음을 그리고 전기장에 의해 유도되는 네마틱 액정분자들의 재배열로 인한 굴절률의 변화를 이용하여 그 레이징 파장들을 조절할 수 있음을 실험적으로 관찰하였다.

그림 1(a)에서처럼, ITO-유리 위에 졸-겔 과정을 통해, 교대로 총 8층의 TiO₂ (두께 112.1nm)와 SiO₂ (두께 40.4nm)로 이루어진 일차원 광결정을 준비하였다. 그림 1(b)의 파장에 따른 반사율 곡선에 볼 수 있듯이, 적은 층으로도, 즉 8층으로도, 광결정의 특정 파장영역에서의 명확한 광 띠틈간격 특성인, 높은 반사율을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 액정 배열을 위해 TiO₂-SiO₂ 층 위에 배열재 (polyimide) 코팅과 골치리 (rubbing)를 하고, 레이징 실험을 위해 그 두 광결정판으로 3μm 간격을 가진 파브리-페로 공진 구조를 만들고, 그리고 그 간격에 염료 (Courmain500, Exciton)가 첨가된 네마틱 액정 (BL038, Merck)을 주입하였다.



(a)

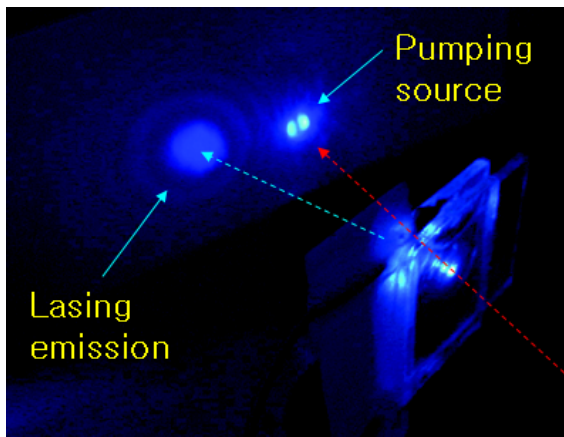


(b)

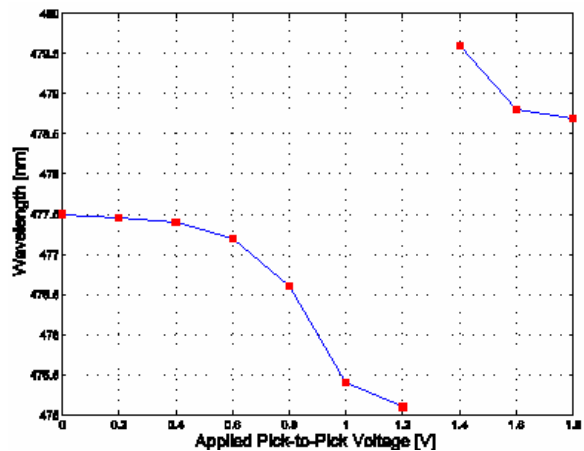
그림 1. (a) 염료, Courmain500 (액정에 대해서 1.62wt.-%), 첨가된 네마틱 액정 (BL038, Merck)을 3μm 간격에 주입한 일차원 광결정 파브리-페로 공진구조, (b) 그 파브리-페로 공진구조를 이루는 두 개의 일차원 광결정의 반사율과 레이징 모드.

이 염료가 첨가된 액정이 담겨져 있는 일차원 광결정 공진기에, 10Hz의 펄스반복 주파수와 약 8nsec의 펄스폭을 갖는 356nm의 파장의 Nd:YAG 레이저의 제삼차 조화파 (third harmonic wave)을 펌핑 광으로 입사하였을 때, 그림 2(a)에서 볼 수 있듯이 새로운 빛이 레이징 됨을 확인하였다. 그림 1(b)에 볼 수 있듯이 광섬유 형태의 분광기 (spectrophotometer: Ocean Optics Inc., S2000)를 통해 여러 개의 모드의 빛이 레이징 됨을 관찰하였다.

또한, ITO-전극에 1kHz 주파수를 갖는 사각 전압 (rectangular voltage)을 인가하여, 그 전압 변화에 따른 레이징 모드들의 파장변화를 실험적으로 관찰하였다. 그림 2(b)는 그 모드들 중 하나의 파장변화에 따른 전압 의존성을 보여준다. 우리의 액정 샘플 (BL038)에서는 양극전압 (pick to pick voltage)이 $V_{pp} = 1.2$ 근처에서 불연속점이, 그 결과, $V_{pp} = 1.2$ 아래에서는 인가전압 증가와 함께 짧은 파장 쪽으로 이동함에 비교하여, 공진기의 공간적 공명 (spatial resonance) 조건에 기인하여, $V_{pp} = 1.2$ 에서 $V_{pp} = 1.4$ 로 증가 할 때는 긴 파장 쪽으로 이동함을 관찰하였다.



(a)



(b)

그림 2. (a) 일차원 광결정 파브리-페로 공진구조에서 레이징 빛, (b) 공진기에 인가된 전압변화에 대한 레이징 모드의 이동 결과

참고문헌

1. E. Yablonovitch, "Inhibited Spontaneous Emission in Solid-State Physics and Electronics", *Phys. Rev. Lett.*, **58** p2059 (1987).
2. H. Finkelmann, S. T. Kim, A. Munoz, P. Palffy-Muhoray and B. Taheri, "Tunable mirrorless lasing in cholesteric liquid crystalline elastomers", *Adv. Mater.*, **13** p1069 (2001).
3. M. N. Shkunov, Z V. Vardeny, M. C. DeLong, R. C. Polson, A. A. Zakhidov, and R. H. Baughman, "Tunable, gap-state lasing in switchable directions for opal photonic crystals", *Adv. Funct. Mater.*, **12** p21 (2002).
4. S. Furumi, S. Yokoyama, A. Otomo, and S. Mashiko, "Electrical control of structure and lasing in chiral photonic band-gap liquid", *Appl. Phys. Lett.*, **82** p16 (2003).
5. R. Ozarki, T. Matsui, M. Ozaki, and K. Yoshino, "Electrically color-tunable defect mode lasing in one-dimensional photonic-band-gap containing liquid crystal", *Appl. Phys. Lett.*, **82** p3593 (2003).