

# 변형된 미소공진기에서 여러 상흔모드들의 방향특성

## Directionality of transverse scarred modes in deformed microcavities

양주희, 이상범, 심정보\*, 전형수, 김상욱\*\*, 이해웅\*, 이재형, 안경원  
 서울대학교 물리학과, \*한국과학기술원 물리학과, \*\*부산대 물리교육과  
 zuee@photon.snu.ac.kr

비대칭형 미소 공진기는 원형 미소공진기가 갖는 단점인 등방성 방출특성을 극복하는 대안이 되며, 또 공진기 내에서 빛살계적이 혼돈현상을 보이기 때문에 고전혼돈과 양자혼돈현상을 연구하기 위한 좋은 시스템으로 간주되고 있다<sup>(1)-(3)</sup>. 비대칭형 미소 공진기에서, 안정된 주기궤도와 연관된 고차 횡 모드는 잘 알려져 있지만, 불안정한 주기궤도에 해당하는 고차 횡 상흔 모드는 보고 된 바가 없다. 본 연구에서는 액체 제트를 이용한 사중극자 형태의 미소공진기내에서 5개의 횡 상흔 모드를 관측하였다. 관측된 상흔 모드들은 6각형 불안정 주기궤도의 장축에 가까운 꼭지점에서 접선방향으로 강한 방출을 나타내는 상흔모드들임을 알 수 있었다<sup>(4)</sup>. 또한 방향에 따른 방출세기를 측정하여 각 상흔모드들의 방향성 방출특성을 확인하였다.

실험에서 비대칭형 공진기는 비원형 단면을 가진 노즐에서 분사되는 액체 제트를 통하여 만들어졌다. 사용된 액체는 색소 RhB 0.1mM/L 가 첨가된 에탄올(굴절률 1.361, 반경 16 $\mu$ m) 이다. 초기에 입의 단면모양으로 분사된 액체제트는 일정한 시간이 지나면 사중극자 진동모드만 남고 다른 높은 차수의 모드는 모두 사라지는 성질을 갖고 있다. 비대칭형 공진기의 경우 펌프광의 효율이 입사빔의 방향에 따라 달라지는 점을 갖고 있다. 본 연구에서는, 비대칭형 공진기에 대하여 펌프레이저의 방향이 45도로 고정된 상태에서 여러 방향의 레이징 이미지 및 출력의 방향성을 측정할 수 있도록 하였는데, 이를 위하여 레이저를 광섬유에 결합하고 정밀 rotational stage위에 액체제트 발생장치와 함께 부착하였다(그림 1). 여기광으로는 CW-Ar<sup>+</sup> 레이저(파장 514nm)를 사용하였다.

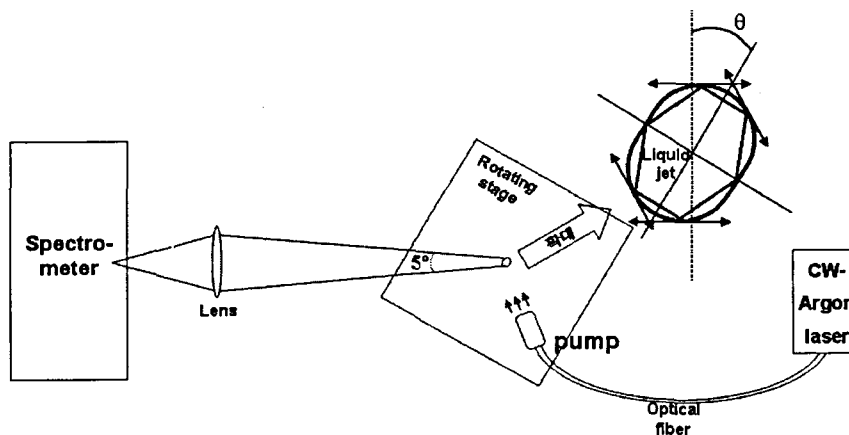


그림 1. 실험 구성

그림 2(a)는 변형도( $\eta$ ) 16%에서 35도 방향에서 측정된 mode 1, 2, 3, 4, 5의 PL spectrum이다. 펌프 광의 세기를 증가시켰을 때 mode 1, 2가 발진됨을 확인할 수 있다. Mode 3, 4, 5는 그림 2(b)과 같이 각도에 따른 봉우리의 상대적 높이 변화로부터 방출 방향성을 확인하였고 그림 3(a)와 같은 결과를 얻었다. 음의 방향과 양의 방향에서 대칭적으로 방출 방향성이 있음을 알 수 있다. 또한 발진된 Mode 1, 2, 3, 4는 1차원 CCD에 의한 측정으로 방출 방향성을 확인하였는데(그림 3(b)), 그 결과 mode 3, 4가 그림 3(a)와 같이 35도 부근에서 강한 방출을 함을 확인하였다. 최소 문턱 세기를 가지는 파장 분석으로부터 품위값이 mode 1, 2는  $10^8$ , mode 3, 4는  $10^6$ 임을 알 수 있다<sup>(4)</sup>. 다섯 개의 모드들이 모두 30도 근처에서 최대출력을 가지면서 비슷한 방향성을 가졌다. 본 측정으로부터 첫째 다수의 횡 상흔 모드가 사중극자 미소공진기에 존재함을 확인하였고, 둘째 이들 상흔 모드들이 비슷한 방출방향성을 가짐을 관측하였다.

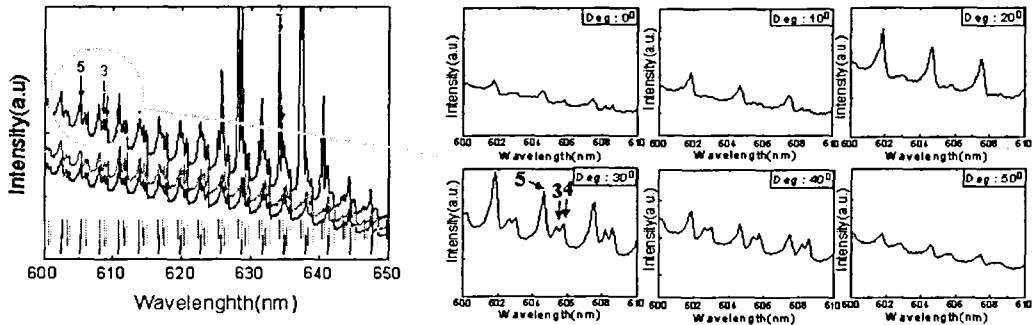


그림 2. (a) mode 1, 2, 3, 4, 5의 spectrum (b) 각도에 따른 봉우리의 높이 변화

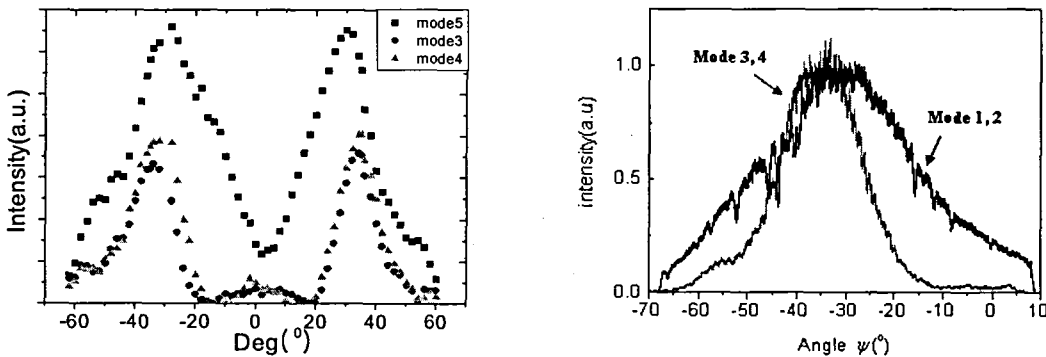


그림 3. (a) PL 스펙트럼의 세기로부터 얻은 mode 3, 4, 5의 방출 방향성. (b) CCD를 이용한 방향성 측정으로부터 얻은 mode 1, 2, 3, 4의 방출 방향성

참고문헌

1. J. U. Nöckel, and A. D. Stone, Nature 385, 45 (1997).
2. C. Gmachl, F. Capasso, E. E. Narimanov, J. U. Nöckel, A. D. Stone, G. J. Faist, D. L. Sivco, and A. Y. Cho, Science 280, 1493 (1998).
3. E. J. Heller, Phys. Rev. Lett. 53, 1515(1984)
4. S. B. Lee, J. H. Lee, J. S. Chang, H. J. Moon, S. W. Kim, K. An, Phys. Rev. Lett. 88, 033903 (2002)

