

사중극자 모양으로 진동하는 액체제트 미소공진기에서 상흔 모드의 특성

Characteristics of the scarred mode from a quadrapole- shape-oscillating liquid-jet microcavity

이상범, 전형수, 문희중*, 이재형, 안경원
서울대학교 물리학과, *세종대학교 광공학과
lsbum@photon.snu.ac.kr

비대칭형 미소공진기는 방향성방출을 가지기 때문에 원형공진의 단점인 등방성 방출특성을 극복하기 위한 대안으로 많은 흥미를 끌어들였다^(1,2). 또한 공진기 내에서 빛살케적이 혼돈현상을 보이기 때문에 고전혼돈과 양자혼돈현상을 연구하기 위한 좋은 시스템을 제공한다⁽³⁾. 우리는 높은 신뢰도의 사중극자변형 공진기를 만들기 위해 측면에서 공기를 불던 기존의 방법 대신 비원형 노즐을 이용하는 방법을 개발하였다⁽⁴⁾. 기존의 원형단면을 갖는 노즐대신 비원형 단면의 노즐로 바꾸면 초기의 단면모양은 여러 개의 고유진동 모드(multipole)의 성분으로 분해 가능하다. 이러한 각 모드는 유체의 점성에 의해 감쇠를 겪는데 각 모드마다 감쇠속도가 다르다. 그중 가장 기본 모드인 사중극자의 감쇠속도가 가장 느리다. 따라서 일정한 시간이 지나면 사중극자 진동모드만 남고 다른 높은 차수의 모드는 모두 사라진다. 우리는 변형도와 사중극자 진동을 증명하기 위해 진동하는 액체 제트에 입사된 여기광의 회절무늬에 의해 변형도를 측정하였는데, 그 회절무늬는 사중극자 진동을 가정한 전산시뮬과 일치했다. 그리고 또한 유체역학에 의해 계산된 사중극자 진동주기와 실험에 의해 측정된 주기가 일치했다.

그림 1은 상흔 모드의 이미지와 방향성을 측정하기 위한 장치를 나타낸다. 색소 RhB 0.1mM/L 가 첨가된 에탄올(굴절률 1.361, 반경 16 μ m) 액체제트가 액체제트 발생장치를 통해 분사되었다. 그리고 그 액체 제트 발생장치를 정밀 rotational stage의 중심부에 부착하여 여러 방향에서 이미지 및 출력의 방향성을 측정할 수 있도록 하였다. 여기광으로는 Q-스위칭 Nd:YAG 레이저(파장532nm, 펄스폭 10ns)를 사용하였다. 이미지 측정에는 NA가 0.4 인 현미경 대물렌즈를 사용하였으며 CCD 카메라에 상이 맺도록 하였다. 출력의 방향성은 대물렌즈 없이 1차원 PDA를 이용하여 측정하였다. 그림 2는 여러 변형도에 따라 측정된 방출빔의 방향성을 나타낸다. 작은 변형도에서는 중심부분(단축방향)으로 방출된 빔의 세기가 가장 컸다. 이것은 곡률이 큰 부분(장축부분)에서 터널링에 의한 빛의 방출이 크기 때문이다. 큰 변형도에서는 가장 크게 방출된 방향은 단축으로부터 많이 벗어났다. 17%의 변형도에서는 가장 큰 방출방향은 단축으로부터 30° 벗어났다. 그리고 그림 3은 17%의 변형도에서 여기광의 방향과 1차원 PDA는 고정된 채 rotational stage위에 고정된 액체제트를 회전시키면서 측정된 빔의 방출 방향성을 나타낸다. 펌핑 방향에 따른 레이징 세기의 강한 의존성을 보였다. 그림 1에 삽입된 그림은 액체제트를 30° 회전했을 때 측정된 이미지이다. 두 개의 밝은 선은 제트의 A와 B 부분에서 방출된 이미지를 나타낸다. 1차원 PDA에 의한 방향성측정과 대물렌즈에 의한 이미지를 동시에 측정함으로써 17%에서 발진한 모드는 6각형 불안정 주기궤도의 장축에 가까운 꼭지점에서 강한 방출을 나타내는 상흔모드임을 입증할 수 있었다.

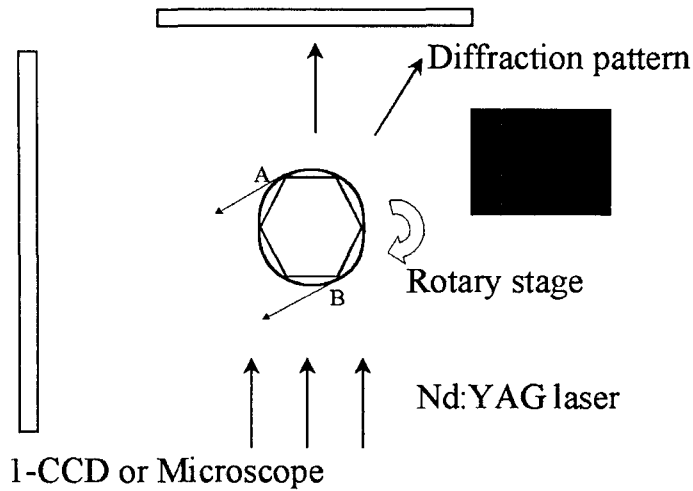


그림 1. 실험장치

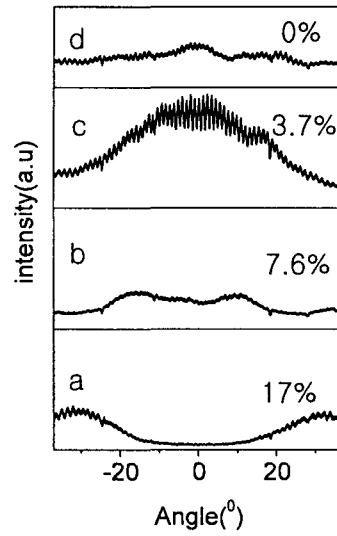


그림 2. 변형도에 따라 측정된 방출빔의 방향성

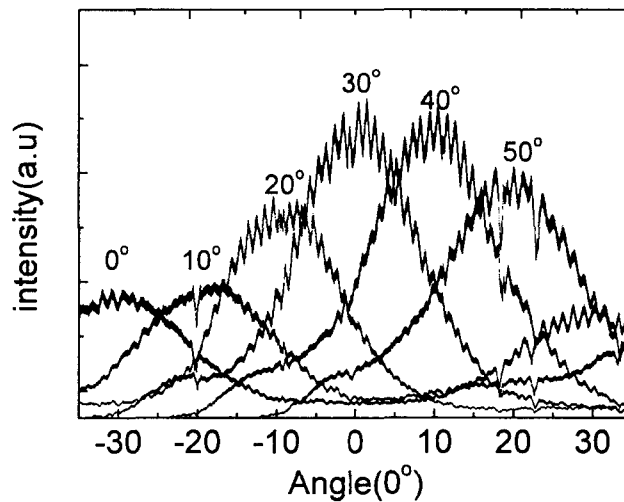


그림 3. 액체제트의 여러 회전각에 따라 측정된 방출빔의 방향성

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).