

## 비대칭형 미소 공진기 레이저의 특성연구

## Characteristics of Asymmetrically-Deformed Microcavity

## Lasers

이상범, 전형수, 김상욱, 문희중\*, 이재형, 안경원

서울대학교 물리학과, \*세종대학교 광공학과

lsbum@photon.snu.ac.kr

원형 미소공진기에는 경계면에서 전반사현상에 의한 초고품질값을 가진 화랑모드가 존재한다. 그리고 경계면 근처에 존재하기 때문에 같은 크기를 가진 어떤 다른 형태의 공명모드 보다 작은 모드부피를 가진 화랑모드는 강한 공진기 양자전자현상을 가능하게 한다. 하지만 등방성 방출특성을 가지는 단점을 가지고 있다. 따라서 최근에는 이러한 단점을 극복하는 대안으로 비대칭형 공진기가 큰 관심을 끌고 있다<sup>(1,2)</sup>. 또한 공진기 내에서 빛살궤적이 혼돈현상을 보이기 때문에 고전혼돈과 양자혼돈현상을 연구하기 위한 좋은 시스템을 제공한다<sup>(3)</sup>. 우리는 내부에서 빛살궤적이 혼돈현상을 보이는 높은 신뢰도의 사중극자변형 공진기를 만들기 위해 측면에서 공기를 불던 기존의 방법<sup>(4)</sup> 대신 비원형 노즐을 이용하는 방법을 개발하였다. 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.

그림 1은 사중극자 감쇠진동을 하는 액체제트에서 레이징 특성을 측정하기 위한 장치도를 나타낸다. 색소 RhB 0.1mM/L 가 첨가된 에탄올(굴절률 1.361, 반경 16 $\mu$ m) 액체 제트가 액체 제트 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 0.4인 현미경 대물렌즈를 사용하였으며 CCD 카메라에 상이 맺히도록 하였다. 출력의 방향성은 대물렌즈 없이 1차원 PDA를 이용하여 측정하였다. 회절무늬로부터 변형도를 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. 1차원 PDA에 의한 방향성측정과 대물렌즈에 의한 이미징을 동시에 측정함으로써 17%에서 발진한 모드는 6각형 불안정 주기궤도의 장축에 가까운 꼭지점에서 접선방향으로 강한 방출을 나타내는 상혼모드임을 입증할 수 있었다. 그림 3은 17%의 변형도에서 여기광으로 CW-Ar<sup>+</sup> 레이저를 사용했을 때 여기광의 세기에 따른 형광스펙트럼과 레이징스펙트럼을 나타낸다. 그림 3(a)는 여기광의 세기가 14mW일 때 미소공진기의 특성인 공진기 모드 구조를 가지는 형광스펙트럼을 나타낸다. 그리고 626nm 근처의 모드가 발진하기 시작하는 문턱세기에 있음을 알 수 있다. 최소 문턱세기를 가지는 파장 분석으로부터 품질값이  $4 \times 10^7$ 임을 알 수 있었다<sup>(4)</sup>. 빛살모델에 의하면 큰 변형정도(12%이상)에서는 몇 개의 낮은 품질값을 갖는 안정주기궤도를 제외하고 완전한 혼돈현상이 나타나야 하지만 실험에서는 고품위 값( $4 \times 10^7$ )을 가

진 공명모드가 관찰되었다. 이 상혼모드는 고효율성과 방향성을 동시에 가진 광원소자의 개발에 활용될 수 있을 것으로 전망된다.

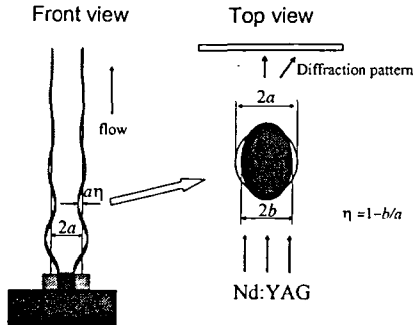


그림 1. 실험장치

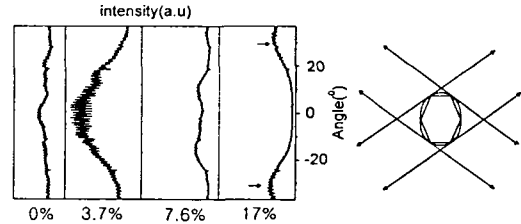


그림 2. 변형도에 따라 측정된 방출빔의 방향성

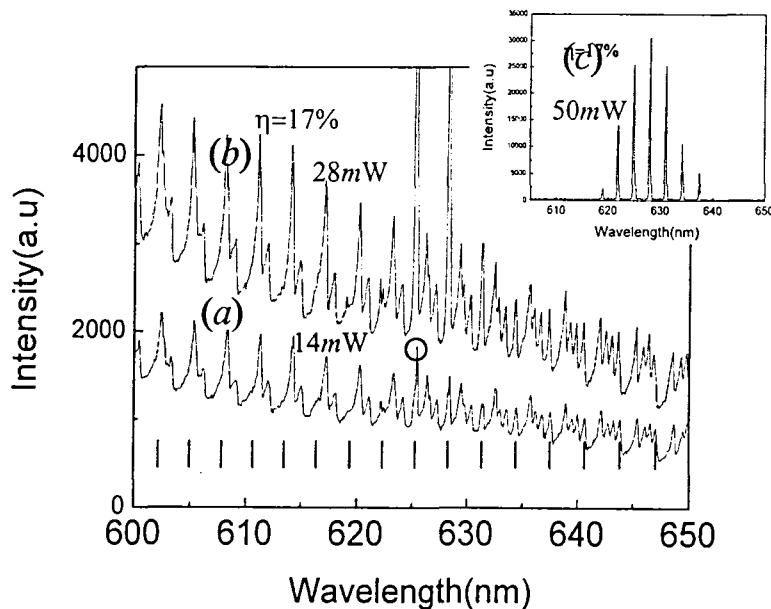


그림 3. CW-Ar 레이저로 여기했을 때 형광스펙트럼과 레이징스펙트럼

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).