

공진기 변형에 따른 방출 방향성의 진화 관측

Observation of the far field evolution in a shape-variable microcavity laser

양주희, 이상범, 문송기, 심정보, Truong Thi Anh Dao, 김상욱*, 이재형, 안경원†

서울대학교 물리천문학부, *부산대 물리교육과

†kwan@phya.snu.ac.kr

미소 공진기 레이저는 작은 크기에 높은 품위값을 동시에 구현할 뿐만 아니라 변형을 가했을 경우 높은 발진 방향성과 펄핑 효율을 나타내므로 고집적 회로나 고품도 레이저 소스로의 응용가능성이 높다.⁽¹⁾ 특히, 방출 방향성은 공진기 내부의 빛의 운동을 설명할 수 있는 단서가 될 뿐만 아니라, 직접적인 응용에 있어 방출빔의 경로를 선정하고 효율성을 증가시키는 이유로 중요한 연구 과제중 하나로 간주되어 왔다. 이러한 방출 방향성은 미소공진기의 모양에 따라 그 특성이 매우 달라지는데, 특히 사중극자 모양의 공진기는 변형을 가함에 따라 공진기 내부의 빛이 규칙적인 운동을 보이는 계에서 완전 혼돈 운동을 나타내는 계로 전이해 가기 때문에 이러한 변형에 따른 방출방향성이나 혼돈현상을 연구할 수 있는 좋은 실험적 장치가 된다. 본 연구에서는 액체 제트를 이용하여 변형도를 연속적으로 조절할 수 있는 사중극자 공진기를 만들고, 이로부터 변형도에 따른 방출 방향성의 전이를 관측하였다.

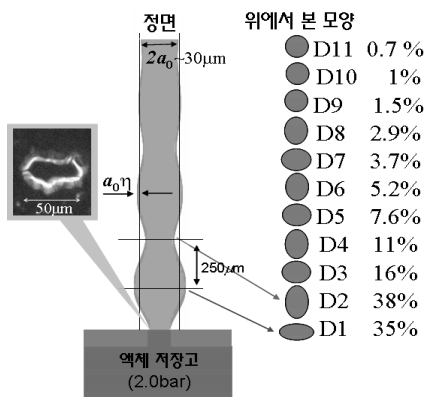


그림 1 찌그러진 구멍에서 분출된 액체 기둥과 위치에 따른 변형도

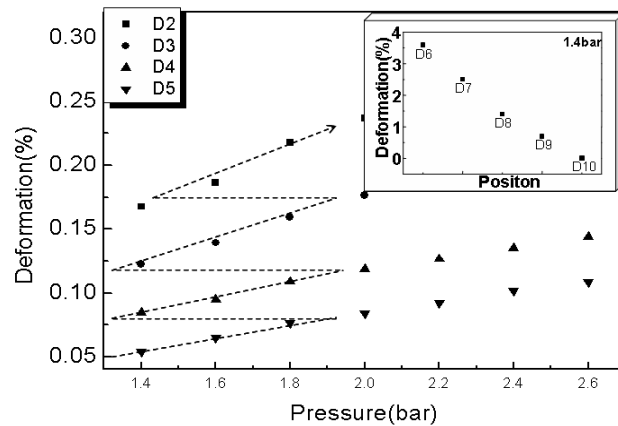
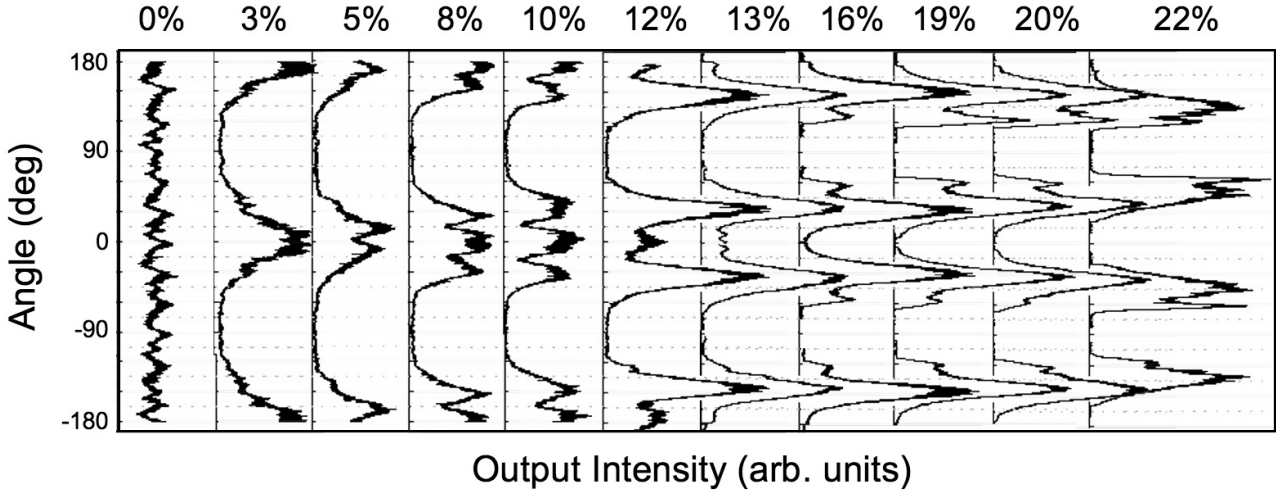


그림 2 압력에 따른 각 위치들의 변형도

변형된 액체 공진기는 그림 1에서와 같이 찌그러진 구멍으로부터 적절한 압력을 받아 분출된 액체기둥의 단면으로부터 만들어진다.⁽²⁾ 이 때 표면장력에 의해 액체가 진행함에 따라 표면파가 생성되며 동시에 점성으로 인해 원으로 수렴하려는 성질을 갖게 된다. 표면파의 배가 되는 단면들은 여러 가지 불연속적인 변형도를 갖는 사중극자 모양의 2차원 공진기가 되고, 여기서 액체의 분출 압력을 조절하여 초기 변형도를 변화시킴으로 매우 간단하게 전체 변형도를 바꿀 수 있다. 그림 2는 액체 분출 압력 변

화(1.4bar~ 2.6bar)에 따른 5% ~ 20%의 연속적인 변형도를 나타내며, 변형도가 작을 경우에는 삽입된 그래프와 같이 압력을 바꾸지 않고 액체줄기의 높이만 바꿈으로써 변형도를 조절할 수 있다. 여기서 액체는 이득물질로 Rhodamin B 0.1mM/L를 녹인 에탄올(굴절율=1.361)을 사용하였고, 분출되는 액체의 평균반경은 약 15 μ m이다. 한편 변형도는 액체 줄기에 입사시킨 레이저(Ar+ 514nm)가 만드는 회절무늬로부터 측정할 수 있다.

이러한 액체 제트 공진기를 Q-스위칭 Nd:Yag의 제2차 조화파(파장 532nm)로 펌핑하고 여기서 출력되는 빛을 1차원 CCD를 이용하여 관측함으로써 방출 방향성을 측정하였다. 이때 액체 제트 공진기를 정밀 회전판 위에 부착하여 360도 전 각도에 대한 측정이 가능 하도록 하였고, 액체의 분출압력을 바꿔가며 변형도에 따른 방출 방향성의 전이를 그림 3과 같이 관측하였다. 변형도가 0%인 원형공진기는 직관적으로 예측가능 하듯이 전 방향에 대해 방출세기가 균일하다. 이는 공진기 모양의 대칭성에 의해 모든 방향에 대해 빛의 방출 확률이 같음을 의미한다. 변형도가 조금 더 증가하면(~3%) 각도 0도와 180도 부근에서의 방출 방향성이 증가하게 되는데 이는 공진기의 90도와 270도 부근의 곡률이 다른 각도에 비해 커지면서 임계각조건에 가까워져 빛의 방출이 용이해지는 현상을 보여준다. 이 때, 터널링에 의해 방출되는 빛은 공진기의 경계면에 접선방향으로 방출되므로 0도와 180도에서 관측하게 된다. 여기서 변형도가 더 증가하여 16%이상 이 되면 공진기는 완전 혼돈계와 같은 특성을 갖게 되는데 이러한 경우는 선행된 연구를 통해 방출방향성이 빛의 고전적 움직임(빛살레적)에 의해 결정됨을 알 수 있었다.⁽³⁾ 따라서 변형도가 큰 경우 빛은 거의 45도 근방에서 높은 방향성을 가지고 출력하게 되는데, 이는 방향성있는 출력빔이 필요한 응용의 경우에도 효과적으로 사용될 수 있고 또한, 효율적인 광펌핑 결과에도 반영될 수 있다.⁽⁴⁾



참고문헌

1. *Optical Microcavities*, edited by K. Vahala (World Scientific, Singapore, 2004).
2. J. Yang, S. Moon, S. B. Lee, S. W. Kim, J. B. Shim, H. W. Lee, J. H. Lee, K. An, Rev. Sci. Instrum, **77**, 083103 (2006)
3. S. B. Lee, J. B. Shim, S. W. Kim, J. Yang, S. Moon, H. W. Lee, J. H. Lee and K. An, Phys. Rev. A **75**, 011802(R) (2007)
4. S. B. Lee, J. B. Shim, S. W. Kim, J. Yang, S. Moon, H. W. Lee, J. H. Lee and K. An, Appl. Phys. Lett. **90**, 041106 (2007)