

단방향 광자원 구현을 위한 비대칭 구조를 갖는 미소원반 공진기

Asymmetric microdisk cavity toward unidirectional photon sources

민성준, 서민교, 김세현, 이용희

한국과학기술원 물리학과

purepass@paran.com

미소원반은 높은 굴절률을 갖는 원반의 원주를 따라 전파를 겪으며 형성되는 속삭이는 회랑 모드(whispering gallery mode)를 통하여 높은 품질을 갖은 광학 공진기가 된다. 레이저나 광자원(photon sources)으로써 미소원반의 사용은 미소원반에 방출되는 빛의 등방적인 특성 때문에 제약을 받는다. 미소원반 공진기에서 방출되는 빛에 방향성을 주기 위해서 공진기가 갖는 높은 회전대칭성을 파괴하는 비대칭 미소원반이 연구되었다.⁽¹⁾

이번 연구에서는 미소원반의 중심으로부터 일정거리 떨어진 현을 따라서 잘린 형태의 새로운 비대칭 미소원반을 제안하고 [그림 1]과 같이 제작하였다. 지름 2 μm , 두께 0.2 μm , 굴절률 3.5, 중심으로부터 0.95 μm 떨어진 현을 따라 잘린 비대칭 미소원반에서 형성되는 모드를 찾기 위해 3D 유한시간영역 방법(Finite-Difference Time-domain Method; FDTD)을 이용한 전산 모사를 통하여 [그림 3]과 같은 모드의 근접장 모습 및 먼장 모습을 얻었다. 시뮬레이션 결과에서 보듯이 even mode의 경우 단 방향으로 강하게 방출되는 먼장 분포를 갖고 있다.

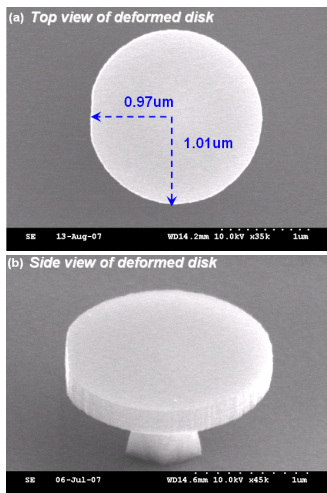


그림 1. SEM 사진

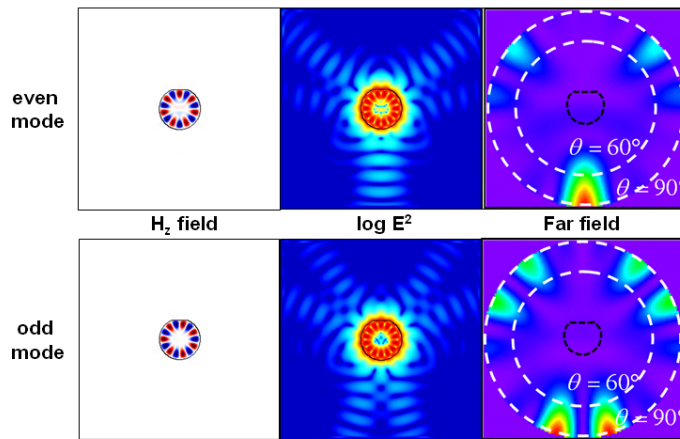


그림 2. FDTD 시뮬레이션 결과

[그림 3]에서 보듯이 980nm 다이오드 레이저 빛을 50배 대물렌즈로 집속하여 제작된 비대칭 미소원반을 광 여기하며(optical pumping) 여기된 비대칭 미소원반 공진기에서 방출되는 빛은 다시 대물렌즈를 통하여 CCD에 상을 맺히게 하여 모드의 상을 관측할 수 있다. 이러한 실험 장치에서 공진기로부터 방출되는 빛을 집속할 수 있는 각이 대물렌즈의 개구수(numerical aperture)로 제한을 받는데 실험에 사용된 대물렌즈의 개구수가 0.85임을 고려하면 대략 60° 이내의 빛만이 집속되어 CCD에 상이 맺힌다. 그러나 미소원반은 60° 보다 큰 각도로 빛을 방출하며 특히 미소원반이 포함된 평면 방향으로 빛을 가장 강하게 방출하는 것을 [그림 2]의 시뮬레이션 결과로부터 알 수 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 [그림 4]에서 보듯이 미소원반 주변으로 고리 모양의 메사를

만들어 이 메사가 미소원반이 포함된 평면 방향으로 강하게 방출되는 빛의 산란체 역할을 하게하였다. 그러면 산란된 빛이 대물렌즈를 통하여 CCD에 상이 맺혀 디스크에서 방출되는 빛의 방향성을 확인할 수 있다.

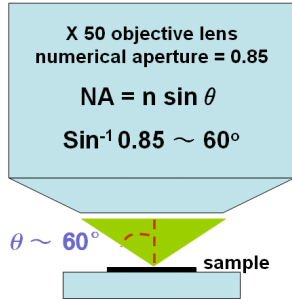


그림 3. 실험장치의 렌즈 개략도

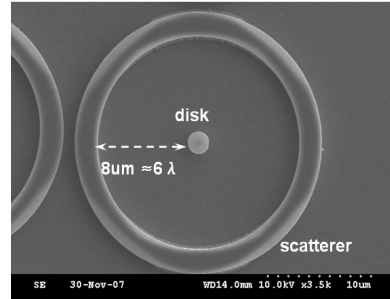


그림 4. 고리 모양의 메사(SEM 사진)

광여기(optical pumping)된 원형 미소원반에서 관측된 CCD 상과 비대칭 미소원반에서 관측된 CCD 상을 [그림 5]와 [그림 6] 같이 촬영하였다. 실험 결과에서 보듯이 원형 미소원반의 경우 고리 모양의 메사에서 일정한 간격으로 놓인 산란된 빛을 볼 수 있으며 비대칭 미소원반의 경우 odd mode의 시뮬레이션 결과와 일치하게 고리 모양의 메사에서 밝게 빛나는 두 개의 점을 확인 할 수 있다. 이는 odd mode의 품위값이 even mode의 품위값보다 크기 때문에 odd mode의 발진이 더 용이하기 때문이다.

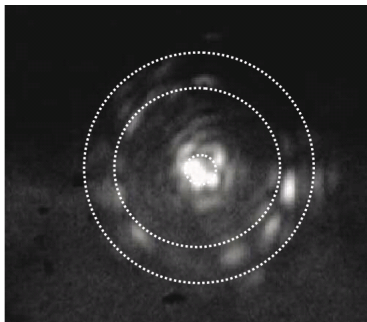


그림 5. 미소 원반의 CCD 상

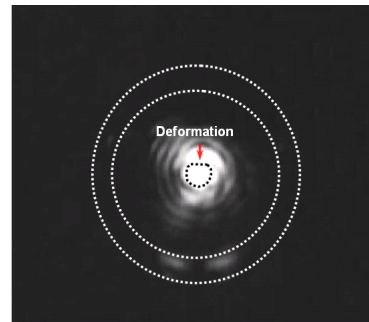


그림 6. 비대칭 미소 원반의 CCD 상

[그림 7]과 [그림 8]에서 InGaAs Femto-watt 검출기를 이용하여 측정된 비대칭 미소 원반에서 방출 되는 빛의 스펙트럼 및 L-L 곡선으로부터 제작된 비대칭 미소원반이 단일 모드로 동작하는 레이저임을 확인하였다.

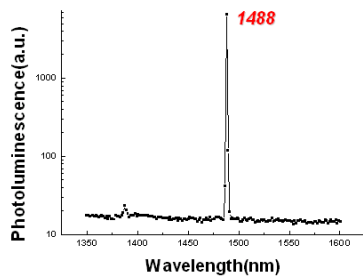


그림 7. 비대칭 미소원반의 스펙트럼

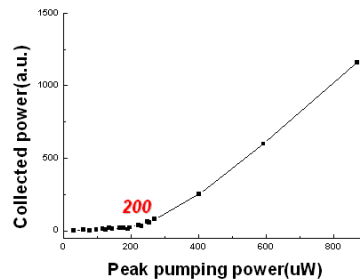


그림 8. 비대칭 미소 원반의 L-L 곡선

1. Jens U. Nockel, A. Douglas Stone, "Ray and wave chaos in asymmetric resonant optical cavities", Nature 385, 45(1997)