두층 구조 사각공진기 레이저에서의 도파로 모드 발진 특성 연구

Study on the Guided Mode Lasing in a Double-Layered Square Microcavity

문희종, 선상필, 안경원*, 이재형*
세종대학교 광공학과, *서울대학교 물리학부
hjmoon@sejong.ac.kr

정사각형 (sqaure) 구조 미소공진기는 Q값이 큰 4-bounce whispering gallery mode (WGM)가 존재할 수 있고, 외부 도파로와 표면감쇠파 결합을 통해 상호작용할 때, 결합 길이가 매우 길어질 수 있어, 광통신용 Add/Drop Filter, 광집적회로 등의 저문턱 미소공진기 레이저 등의 광소자 분야에 적용하려는 연구가 최근 진행되고 있다. 그러나 단일 경계면을 갖는 사각 공진기는 공간 모드가 매우 많은 multimode 특성을 띄기 때문에 응용에 있어 단점이 된다.[1] 두층 구조 사각 공진기를 이용하여 내부층에 공간 모드 선택 기능을 부여하면 특정 공간 모드만을 발진시키는 레이저를 구현할 수 있다.[2] 본 연구에서는 새로운 형태의 공진모드인 guided mode가 존재할 수 있는 두층 구조 사각공진기를 제안하고, 레이징 실험을 통해 실증하였으며, 제안된 guided mode의 응용 가능성에 대해 소개하였다.[3]

제안된 사각공진기 도파로 모드에 해당하는 ray picture가 그림 1에 나타나 있다. 내부 사각형의 크기가 d_1 (굴절율 m_1 =1.0), 외부 사각형의 크기가 d_2, 굴절율이 m_2인 두 층 사각 공진기를 고려하자. $3d_1/2 < d_2 < 2d_1$ 조건을 만족할 때에는, 4-bounce WGM은 존재할 수 없고, 그림 1에 나타나 있는 바와 같이, 각각의 내부 사각면에서 1회씩 전반사가 일어나는 12-bounce guided mode를 생각할 수 있다. 그림 1에는 사각면에 45° 로 입사하는 closed guide mode에 해당하는 ray tracing이 나타나 있다. 그 형태가 X와 같아, 이러한 모드를 편의상 'X-모드'라 칭하자. 입사각이 45°가 아닌 X-모드는 ray가 round-trip 후 원래 위치로 돌아오지 않는다. 그림에서 안쪽 면과 만나는 직선ray를 외부 경계면을 기준으로 밖으로 접으면, 크기가 $2d_2-d_1$ 으로 더 커진 사각 공진기의 4-bounce 모드로 mapping이 됨을 알 수 있다. 따라서, X-모드는 경계면이 하나인 사각공진기의 4-bounce WGM과 같이 multimode 특성을 보인다. X-모드의 특징으로 모서리 영역의 open X-모드에 대한 filtering 효과를 들 수 있다. 그림에서 외부 모서리와 내부 모서리 사이 영역이 open X-모드에 대한 gate 역할을 하기 때문에 단일 사각 공진기의 4-bounce 모드에 비해 상당한 모드 선택성을 부여할 수 있는 장점이 있다.

X-모드를 갖는 두층 사각공진기는 외부 크기 d_2를 통일하면서도 내부 크기 d_1을 조절해서 다양한 모드 구조를 실현할 수 있기 때문에 photonic integrated circuit의 building block으로 매우 큰 유용성이 있다. 예를 들어, 두 평행한 도파로 사이에 통일된 외부 크기의 두층 사각공진기를 여러 개 만들어 위치시키고, 각각의 내부 크기를 달리 하면 다양한 파장 선택성을 갖는 필터를 구현할 수 있다. 속이 빈 공진기 내부에 또다른 사각공진기를 그림 1과 같이 표면감쇠파 결합시킬 수 있기 때문에 단일 파장 미소공진기 레이저 등에 적용시킬 수 있고, compact한 다기능 소자를 실현시킬 수 있을 것으로 기대된다.

X-모드를 실험적으로 구현하기 위해 d_1이 100 μm, 외부크기가 320 μm인 사각 capillary (m_2=1.458)를 외부 etching 하여, d_2를 174 μm로 줄인 다음 외부에 Rh6G가 첨가된 PMMA 유전층(굴절율 1.46)을 4 μm 정도 두께로 코팅하여 녹색 펄스광으로 여기시켰다. 제작된 두층 구조 사각 공진기 단면 이미지가

그림 2에 나타나 있다. 사각공진기의 가로와 세로 크기는 약간 달랐지만 그 차이가 작아 정사각형으로 근사시킬 수 있었다. 발진된 스펙트럼이 그림 3에 나타나 있다. 코팅 두께가 좀 두꺼운 곳에서는 그림 3의 (a)와 같이 선폭이 넓은 peak들이 나타나고, 코팅 두께가 좀 얇아 이득이 적은 영역에서는 (b)와 같이 선폭이 매우 좁은 peak들이 나타나며, 모드 간격은 0.29 nm로 측정되었다. 이 값은 X-모드의 이론적인 파장 간격과 일치하였고 내부에 에탄올을 넣어 레이징 발진이 일어나지 않음을 확인하여, 그림 3의 발진 peak들이 X-모드임을 확정할 수 있었다. 그림 3의 (a)는 closed X-mode를 중심으로 open X-mode가 동시에 발진되어, peak 선폭이 넓어진 것으로 해석할 수 있다.

* 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (R01-2002-000-00019-0(2002)) 지원으로 수행되었음.

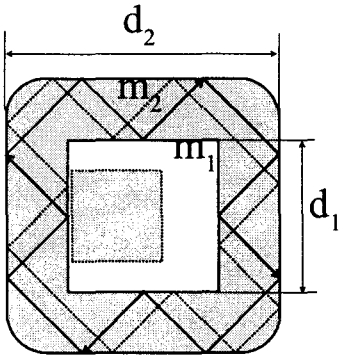

그림 1. 제안된 도파로 모드

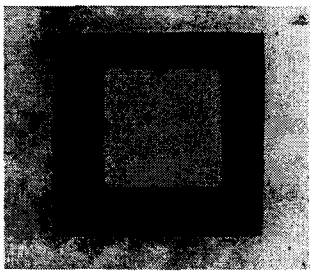

그림 2. 에칭된 두층구조 사각공진기

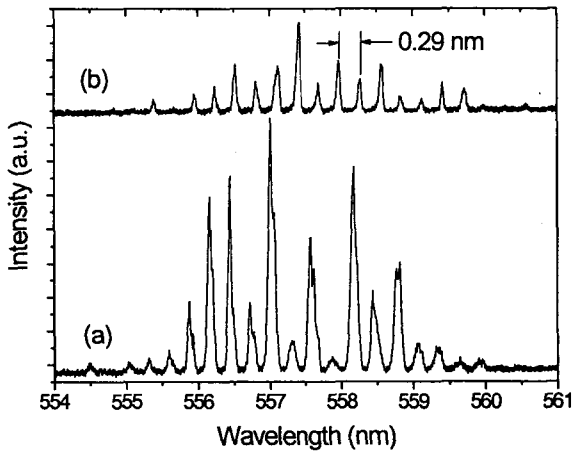

그림 3. 두층구조 사각공진기에서의 도파로 모드 레이징 스펙트럼

참고문헌

[1] A. W. Poon, F. Courvoisier, R. K. Chang, Opt. Lett. **26**, 632 (2001).

[2] H. J. Moon, K. An, J. H. Lee, Appl. Phys. Lett. **82**, 2963 (2003).

[3] H. J. Moon, S. P. Sun, J. H. Lee, K. An, Appl. Phys. Lett. submitted (2003).