

Micro Block Stacking 방법으로 제작한 집적형 단일모드 외부 공진 레이저

윤현재[†]

광주대학교 광통신공학과 광모듈연구실
☎ 503-703 광주광역시 남구 효덕로 52

(2008년 1월 11일 받음, 2008년 3월 4일 수정본 받음)

Micro-Block Stacking(MBS) 방법으로 1550nm FP-LD와 박막 필터, 마이크로 볼 렌즈를 사용하여 집적형 외부 공진기 레이저를 제작하였다. 제작한 집적형 외부 공진기 레이저 모듈 크기는 2.0×2.1×0.7 mm³이었으며 TO-CAN 형태로 패키징하였다. 투과율이 1.8%인 박막 필터를 사용한 집적형 외부 공진기 레이저의 경우 광출력이 -27.1 dBm이고 SMSR이 31.7 dB인 양호한 단일모드 레이저 특성을 얻을 수 있었다.

주제어: External Cavity Laser

I. 서 론

광통신용 발광소자로 이용되는 레이저 다이오드 중 FP-LD (Fabry-Perot Laser Diode)는 제작이 쉽고 가격이 저렴하여 많이 이용되지만 여러 개의 종모드가 발생 하여 장거리전송이나 WDM 전송에 적용하기가 어렵다. 그 대안으로 선풍이 좁고 단일 모드 특성이 안정적으로 출력되는 DFB-LD(Distributed Feed Back-Laser Diode)가 있으나 제작공정이 까다롭고 가격이 비싼 문제점이 제기되어왔다.

이에 대한 대안으로 여러 가지 형태의 외부 공진기 레이저 (External Cavity Laser)^[1-4]가 제안되었다. 외부 공진기 레이저는 다중모드로 발진하는 FP-LD의 종모드와 외부 공진기의 모드가 중첩되어 단일모드로 발진하는 특징을 가지고 있으며 기존 DFB-LD 보다 뛰어난 파장 선택성과 온도 안정성을 나타낸다. 그러나 대부분의 외부 공진기 레이저 구조가 광섬유 브래그 격자 등을 사용하여 구조가 복잡하거나 제작시 높은 정밀도를 필요로 하여 저가격 상용 제품에 적용하기가 쉽지 않다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 정밀 가공 부품의 공차를 이용하여 제작하기 간편하고 고가의 장비가 필요하지 않는 저가격 집적형 패키징 방법인 Micro-Block Stacking 방법^[5]을 고안하였으며 1550 nm FP-LD와 반사율이 다른 박막 필터, 마이크로 볼 렌즈를 사용하여 집적형 외부 공진기 레이저를 제작하였다.

II. Micro-Block Stacking 방법

현재 상용화되어 있는 대부분의 광통신 송수신 모듈은 레이저 다이오드와 모니터용 포토다이오드로 구성된 TO-56 패키지과 수신용 포토다이오드를 내장한 TO-46 패키지를 사용하고 있다. 이러한 구조는 전체 광송수신 모듈 크기를 더 이

상 줄이기 어렵다는 단점이 있으며 광섬유와 정렬시 각 부품 사이의 거리가 상당히 떨어져 있어 부품의 정밀도와 위치의 오차로 인하여 광축이 정확히 맞지 않을 경우 광정렬 시간이 많이 걸린다. 본 연구실에서는 이러한 단점들을 보완할 수 있는 새로운 집적형 광모듈 패키징 방법인 Micro-Block Stacking 방법을 개발하였다. 이 방법은 레이저 다이오드, 모니터용 포토다이오드, 수신용 포토다이오드, WDM 필터, 마이크로 볼 렌즈 등을 정밀한 세라믹 블록을 이용하여 정렬, 고정시키는 방법으로 양방향 광모듈^[6]과 Triplexer를 비롯한 여러 가지 광모듈 패키징에 적용이 가능하다. 또한 Micro-Block Stacking 방법으로 제작한 집적형 모듈은 전체 크기를 2 mm × 2 mm × 1 mm 이내로 줄일 수 있어 국제 표준에 맞는 소형 광모듈 (small form factor) 제작이 가능하다. 이 방법은 레이저 다이오드와 볼 렌즈, 박막 필터가 세라믹 기판으로 연결되어 있어 온도 변화에 따른 열팽창, 수축 등이 거의 나타나지 않으며 광경로나 광출력의 변화도 크게 나타나지 않는다. 세라믹 기판은 열적 특성뿐만 아니라 초고주파 동작 특성이 우수하기 때문에 10 Gbps이상의 고속 동작도 가능하며 세라믹 서브마운트 자체에 임피던스 정합을 위한 회로 패턴과 와이어 본딩을 위한 본딩 패드를 구성할 수 있어 집적형 소형 광모듈 제작에 많은 장점이 있다.

III. 집적형 외부 공진기 레이저 설계 및 제작

제작에 앞서 FP-LD, 마이크로 볼 렌즈, 박막 필터, 세라믹 LD 홀더(LD holder)와 서브마운트(submount) 등 부품의 크기 및 가공 정밀도, 각 부품의 부착 방법 및 부착 정밀도 등을 고려하여 집적형 외부 공진기 레이저 모듈을 그림 1과 같이 설계하였다. 표 1은 집적형 외부 공진기 레이저 모듈 제작에 필요한 부품의 크기와 가공 정밀도 등을 나타낸 것이다.

FP-LD는 파장이 1550 nm인 상용 칩으로 발광 영역의 폭이 1 μm이고 길이가 300 μm로 빛이 방출되는 앞면에는 무

[†]E-mail: hgyoon@gwangju.ac.kr

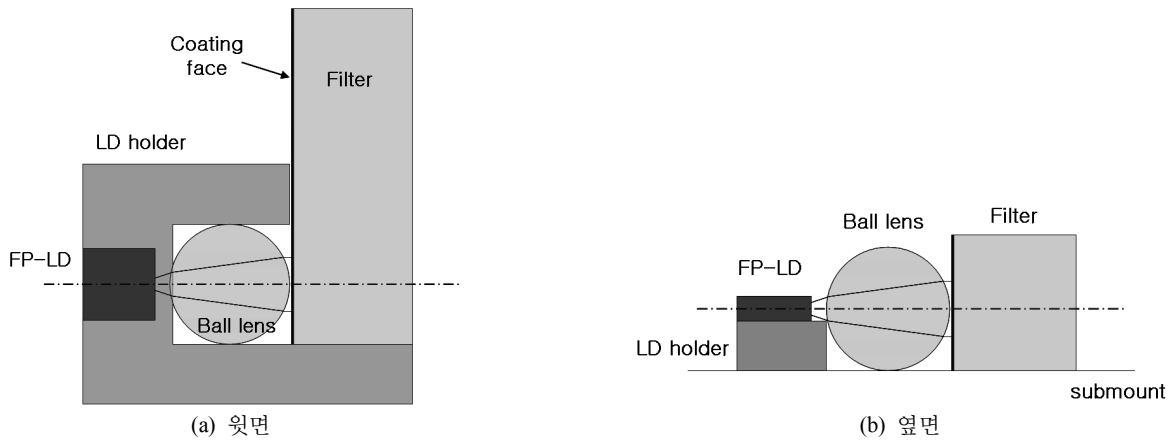


그림 1. 집적형 외부 공진기 레이저 설계도.

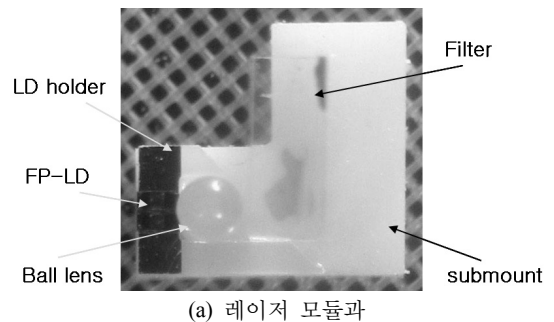
표 1. 집적형 외부 공진기 레이저 모듈 부품

	크기(WxDxH) (mm)	정밀도(mm)	비고
FP-LD	0.3×0.3×0.1	±0.005	$\lambda = 1550 \text{ nm}$
마이크로 볼 렌즈	$\phi 0.5$	$\pm 0.003 < 0.001$ (비원율)	BK-7 n = 1.157
박막 필터	1.4×0.5×0.55	+0.00/-0.05±0.05(H)	SODA n = 1.52
LD 홀더	1.42×1.0×0.15	±0.03	AlN
서브마운트	2.05×1.95×0.15	±0.03	Al ₂ O ₃

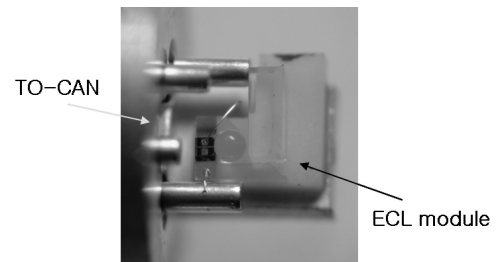
반사 코팅이 되어 있으며 마이크로 볼 렌즈는 소형화와 작업 용이성을 고려하여 지름이 0.5 mm인 부품을 선택하였다. 박막 필터는 제작이 용이한 1.4×0.5×0.55 mm³ 크기로 제작하였으며 한쪽 면에만 반사용 박막 코팅을 하였다. ‘C’자 모양의 LD 홀더는 레이저 다이오드와 열팽창 계수가 비슷한 AlN로 제작하였으며 레이저 다이오드 부착 및 와이어 본딩을 위한 금속 본딩 패드(bonding pad)를 중간 부분에 증착하였다. 서브마운트는 모든 부품을 정렬 및 부착시키는 기관으로 가격과 제작 용이성을 고려하여 Al₂O₃로 제작하였다.

세라믹으로 정밀 가공된 LD 홀더는 그림 1(a)와 같이 광경로에 마이크로 볼 렌즈 위치를 정확히 고정시켜 줄 뿐만 아니라 그림 1(b)에 나타난 것과 같이 레이저 다이오드와 볼 렌즈 사이도 초점 거리에 정확히 맞추어 고정시키는 역할을 한다. 또한 박막 필터의 위치와 각도도 고정시켜 마이크로 볼 렌즈를 사이에 두고 FP-LD와 박막 필터 사이에 외부 공진기가 형성되도록 한다. 박막 필터의 경우 이 외부 공진기에서 빛이 광경로를 벗어나 외부로 발산되는 손실을 줄이기 위하여 가능한 한 마이크로 볼 렌즈 가까이 위치 시켰으며 반사를 일으키는 코팅면도 마이크로 볼 렌즈 쪽으로 향하도록 하였다. 이러한 외부 공진기내의 광 경로 길이는 약 0.6 mm이며 마이크로 볼 렌즈에 의하여 반사되는 빛은 반사각을 고려할 때 대부분 외부로 발산되어 공진기 설계시 무시할 수 있다.

그림 2는 Micro-Block Stacking 방법으로 제작한 집적형 외부 공진기 레이저 모듈과 이 레이저 모듈을 TO-CAN 패키지에 부착한 사진을 나타낸 것이다. 외부 공진기 레이저 모듈



(a) 레이저 모듈과



(b) TO-CAN 패키지

그림 2. 집적형 외부 공진기.

은 ±0.5 μm 부착 정밀도를 갖는 다이 본더(die bonder)를 사용하여 세라믹 재질의 서브마운트 위에 LD 홀더, 마이크로 볼 렌즈, 박막 필터 순서로 부착한 후 Au/Sn 솔더를 사용하여 1550 nm FP-LD를 부착하여 제작하였다. 이때 박막 필터는 반사율에 따른 외부 공진기 레이저 특성을 조사하기 위하여 투과율이 각각 0.04%, 1.8%, 83%, 96%인 4종류의 필터

를 사용하였다. 제작된 집적형 외부 공진기 레이저 모듈은 폭이 2.1 mm, 길이가 2.0 mm, 높이가 0.7 mm이었다. 제작된 외부 공진기 레이저 모듈은 에폭시를 사용하여 TO-CAN 패키지에 부착하고 와이어 본딩(wire bonding)한 후 상용 TO-CAN 패키지의 볼 렌즈 캡(ball lens cap)으로 봉합하였다. 이 볼 렌즈는 외부 공진기 레이저 모듈에서 방출되는 빛을 광섬유에 집속시켜 주는 역할을 한다.

IV. 집적형 외부 공진기 레이저 특성

제작된 집적형 외부 공진기 레이저를 능동 정렬 시스템을 이용하여 단일모드 광섬유에 정렬시킨 후 출력을 광스펙트럼 분석기로 측정하였다. 이때 레이저 다이오드 구동 전류는 30 mA로 고정하였다.

반사율이 다른 4종류의 박막 필터를 사용한 집적형 외부 공진기 레이저의 광스펙트럼을 그림 3에 나타내었다. 반사율이 제일 높은 필터 A(투과율 0.04%)를 사용하여 제작한 모듈의 경우(그림 3(a)), 1차 모드의 광출력이 -55.7 dBm이었고

SMSR(side mode suppression ratio)이 6.5 dB로 광출력과 SMSR 값이 만족스럽지는 않지만 단일모드 발진이 나타나는 것을 알 수 있다. 광출력이 낮은 이유는 FP-LD에서 방출된 대부분의 빛이 박막 필터에서 반사되어 광섬유 쪽으로 투과되어 나오는 빛의 양이 적기 때문이며 SMSR이 낮은 이유는 광출력 낮아 상대적으로 잡음이 크기 때문인 것으로 판단된다. 필터 B(투과율 1.8%)를 사용하여 제작한 모듈의 경우(그림 3(b)), 1차 모드의 광출력이 -27.1 dBm이고 SMSR이 31.7 dB로 양호한 광출력과 SMSR 값을 갖는 단일모드 발진을 얻었다. 반사율이 낮은 필터 C(투과율 83%)와 필터 D(투과율 96%)를 사용하여 제작한 모듈의 경우(그림 3(c), (d)), 1차 모드의 광출력이 각각 -16.2 dBm와 -7.6 dBm으로 높게 나타났지만 모드 간격이 1 nm 정도이고 전형적인 FP-LD의 다중 모드 특성이 그대로 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 박막 필터에서 반사된 빛이 FP-LD 사이의 공간 내에서 되먹임 되지 않고 대부분 주위로 산란되어 외부 공진기를 형성하지 못하기 때문이라고 생각된다. 이상의 집적형 외부 공진기 레이저 특성 결과를 표 2에 정리하여 나타내었다.

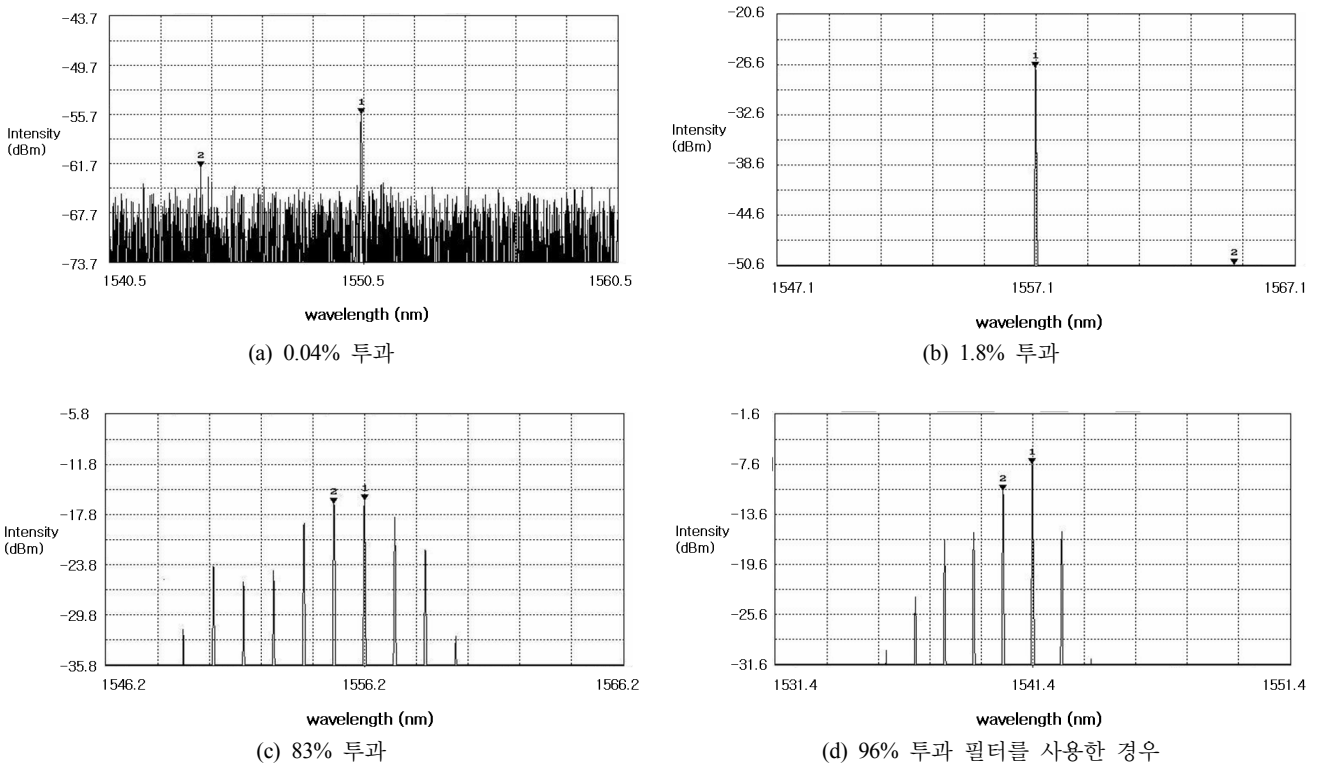


그림 3. 박막 필터 투과율에 따른 집적형 외부 공진기 레이저의 파장 스펙트럼.

표 2. 집적형 외부 공진기 레이저 특성

	투과율(@1550 nm)	λ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	SMSR (dB)	P_{MAX} (dBm)
Filter A	0.04%	1550	6.32	6.54	-55.7
Filter B	1.8%	1557	7.7	31.7	-27.1
Filter C	83%	1556	1.2	0.4	-16.2
Filter D	96%	1541	1.14	3.23	-7.6

보다 높은 광출력을 얻기 위해서는 집속 효율이 낮은(5~10%) TO-CAN 볼 렌즈 캡 대신 집속 효율이 30~50%인 비구면 렌즈 캡을 사용하고 집적형 외부 공진기 레이저에 최적화된 투과율(1.8~83% 사이)을 갖는 필터를 적용하는 것이 필요하다.

V. 결 론

1550 nm FP-LD와 반사율이 다른 박막 필터, 마이크로 볼 렌즈를 사용하여 정밀 가공 부품의 공차를 이용한 Micro-Block Stacking 방법으로 집적형 외부 공진기 레이저를 제작하였다. 제작한 집적형 외부 공진기 레이저 모듈 크기는 $2.0 \times 2.1 \times 0.7 \text{ mm}^3$ 이었으며 볼 렌즈 캡이 있는 TO-CAN 형태로 패키징하였다. 반사율이 다른 4개의 박막 필터를 사용하여 제작한 집적형 외부 공진기 레이저 가운데 투과율이 1.8%인 필터를 사용한 경우에 광출력이 -27.1 dBm이고 SMSR이 31.7 dB인 양호한 단일모드 레이저 특성을 얻을 수 있었다.

감사의 글

이 연구는 2008년도 광주대학교 대학 연구비의 지원을 받아 연구되었음.

참고문헌

- [1] Jun-Ichi Hashimoto, T. Takagi, T. Kato, G. Sasaki, M. Shigehara, K. Murashima, M. Shiozaki, and T. Iwashima, "Fiber-bragg-Grating External Cavity Semiconductor Laser (FGL) Module for DWDM Transmission," *J. Lightwave Technol.*, vol. 21, no. 9, pp. 2002-2009, 2003.
- [2] Takuya Tanaka, Yoshinori Hibino, Toshikazu Hashimoto, Ryoichi Kasahara, Makoto Abe, and Yuichi Tohmori, "Hybrid integrated external cavity laser without temperature dependent mode hopping," *J. Lightwave Technol.*, vol. 20, no. 9, pp. 1730-1739, 2003.
- [3] Toshiya Sato, Fumihiko Yamamoto, Khoji Tsuji, Hiroki Takesue, and Tsuneo Horiguchi, "An Uncooled External Cavity Diode Laser for Coarse-WDM Access Network Systems," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 14, no. 7, pp. 1001-1003, 2002.
- [4] C. -F. Lin, Y. -S. Su, and B. -R. Wu, "External-Cavity Semiconductor Laser Tunable From 1.3 to 1.54 μm for Optical Communication," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 14, no. 1, pp. 3-5, 2002.
- [5] H. J. Yoon, "Bi-directional Optical Modules Package," Patent US 7,244,068 B2, 2007.
- [6] H. J. Yoon and K. N. Jun, "Compact bidirectional Optical Module Using Ceramic Blocks," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 16, no. 8, pp. 1954-1956, 2004.

Fabrication of the Single-Mode External-Cavity Laser using Micro Block Stacking Technique

Hyun-Jae Yoon[†]

Department of Optical Communications Engineering, Gwangju University, Gwangju, 503-703, Korea

[†]*E-mail: hjyoon@gwangju.ac.kr*

(Received January 11, 2008, Revised manuscript March 4, 2008)

The integrated external cavity laser has been fabricated with a 1550 nm FP-LD, an optical filter, a micro ball lens and accurate ceramic blocks using a micro-block stacking (MBS) technique. The integrated external cavity laser module whose size is only $2.0 \times 2.1 \times 0.7 \text{ mm}^3$ has been mounted on the TO-CAN package. For the case of the 1.8% transmission filter, the single mode characteristic has been obtained with the optical power of -27.1 dBm and the SMSR of 31.7 dB.