

비트 주파수를 스위칭할 수 있는 듀얼 모드 외부 공진기 레이저

김철섭 · 김륜경 · 이경식[†]

성균관대학교 정보통신공학부 광통신 연구실
☎ 440-746 경기도 수원시 장안구 천천동 300

송정환 · 오윤경

삼성전자 정보통신총괄 통신연구소 통신모듈팀
☎ 442-370 경기도 수원시 팔달구 매탄동

(2006년 11월 21일 받음, 2006년 12월 23일 수정본 받음)

평판도파로 상에 FP-LD와 샘플격자를 하이브리드 집적하여 듀얼 모드로 발진하는 외부 공진기 레이저를 구현하였다. 샘플격자에 인가되는 전류를 50mA에서 55mA로 변화시킴으로써 듀얼 모드간의 beat 주파수를 132GHz에서 406GHz로 스위칭할 수 있었다.

주제어 : Gratings, External cavity laser, Planar lightwave circuit

I. 서 론

최근 들어 통신 기술의 발전에 따라 인터넷, 멀티미디어 서비스의 사용이 늘어나 통신용량이 급격하게 증가하게 되었고, 이에 따른 수요를 충족시키기 위한 해결 방법으로 초고속, 저손실의 광통신이 더욱 중요하게 되었다. 그 결과 파장 분할 다중화(Wavelength Division Multiplexing, WDM) 광전송 기술^[1,2]과 FTTH(Fiber-To-The-Home) 구현을 위한 광 액세스 네트워크 기술이 개발되었다. 이에 따라, 광통신 시스템에서 많이 쓰이는 광원 중의 DFB-LD(Distributed-Feedback Laser Diode)는 가격이 비싸고, 온도 안정성이 낮기 때문에 Metro Area Network나 FTTH용으로 쓰기에는 적절하지 않다. 이러한 단점들을 극복할 수 있는 방법으로 저가인 FP-LD(Fabry Perot Laser Diode)에 온도 안정성이 높은 브래그 격자(Bragg Grating)를 외부 반사경으로 사용하는 외부 공진기 레이저(External Cavity Laser, ECL)에 대한 연구가 현재 활발히 진행중이다^[3-6]. 특히, 근래에는 평판도파로(Planar Lightwave Circuit, PLC)에 광섬유 및 벌크 형태의 소자들을 집적하는 하이브리드 집적 기술에 대한 필요성과 관심이 증대되고 있다. 단일 소자로 구성되는 평판도파로 하이브리드 집적 소자는 소형이며 안정적이고, 대량 생산이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 따라서 기존의 광섬유 형태로 구성되어 있는 외부 공진기 레이저를 평판도파로에 하이브리드 집적기술을 이용하여 구현함으로써 집적 소자의 장점을 살리기 위한 연구가 활발히 진행 중이다^[7]. 특히, 듀얼 모드 레이저를 평판도파로에 집적하여 안정되고 소형으로 구현하는 경우 광통신분야 이외에도 테라헤르츠 영상, dual-

wavelength 간섭계 등 여러 분야에 활용될 수 있기 때문에 본 연구를 하게 되었다.

본 논문의 II 절에서는 듀얼 모드로 발진하는 외부 공진기 레이저를 구현하기 위하여 평판도파로 상에 외부 반사경으로의 샘플격자를 하이브리드 집적시키는 제작 방법과 동작 원리에 대하여 살펴보고, III 절에서는 듀얼 모드로 발진하는 외부 공진기 레이저의 구현 및 특성과 결과에 대하여 살펴보고, IV 절에서는 결론을 맺고자 한다.

II. 평판도파로에서의 샘플 격자 시스템

본 연구에서 사용된 평판도파로는 광섬유 형태의 도파로와는 달리 이차원적 구조의 평판 위에 도파로가 있는 형태이다. 평판도파로 칩의 크기는 가로 18mm, 세로 6mm로 소자에 FP-LD와 샘플 격자를 하이브리드 집적시켜 듀얼 모드 외부 공진기 레이저를 구현하였다. 도파로 코어의 크기는 가로 6.5 μ m, 세로 6.5 μ m로 길이방향으로 클래딩층 안에 구성되어 있는 형태이다. 코어와 클래딩에는 광감성을 높이기 위해 Ge 이 첨가되어 있다. 코어의 유효 굴절률은 1.456이고, 이는 클래딩의 유효 굴절률과 0.75%의 차이를 갖는다. 또한 광감성을 증가시키기 위하여 상온에서 수소처리하여 수소 농도를 포화시켰다^[8].

본 논문에서는 외부 공진기 레이저의 발진모드를 듀얼로 하기 위하여 샘플격자를 사용하였다. 일반적으로 샘플격자에서의 채널 간격($\Delta\lambda$)은 격자에 주어지는 sampling 주기(A_s)에 따라 변하게 되는데 그 식은 다음과 같다^[9].

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_B^2}{2n_{eff}A_s} \quad (1)$$

[†] E-mail: kslee@ece.skku.ac.kr

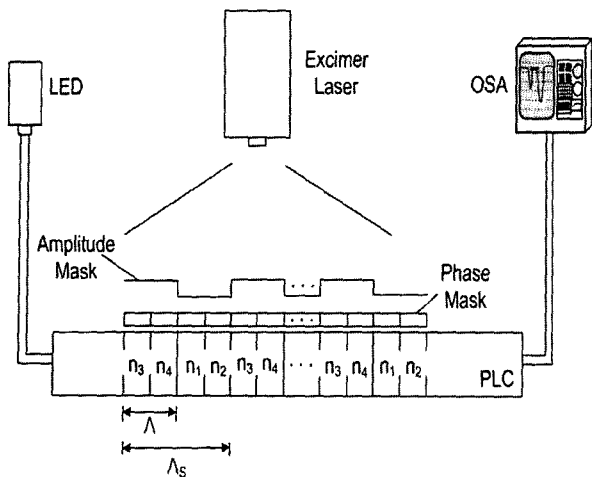


그림 1. 샘플격자를 구현하기 위하여 사용된 시스템 구성도.

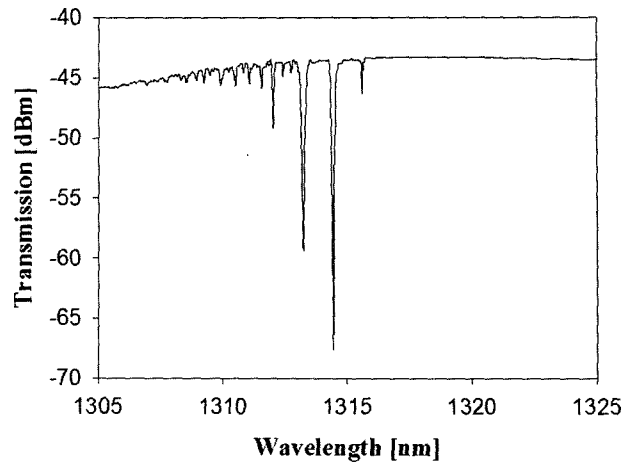


그림 2. 샘플격자의 투과 스펙트럼.

여기서, $\Delta\lambda$ 는 채널 간격, λ_D 는 격자의 중심파장, n_{eff} 는 도파로의 유효굴절률, λ_s 는 샘플격자의 sampling 주기를 나타낸다. 식(1)에서 볼 수 있듯이 격자의 채널 간격은 격자의 sampling 주기에 반비례하기 때문에 이를 조절함으로써 간단하게 변화시킬 수 있다.

그림 1은 샘플격자를 제작하기 위한 시스템의 구성도이다. $\Delta\lambda$ 는 브래그 격자의 주기를 나타내고, λ_s 는 격자의 sampling 주기를 나타낸다. 그리고 n_1 과 n_2 는 UV 빛의 조사에 의해 야기된 굴절률 변화를 나타내고, n_3 과 n_4 는 sampling 주기에 의해 변화된 굴절률을 나타낸다¹⁰⁾. 위상 마스크는 주기가 901.81nm인 것을 사용하였고, 진폭 마스크의 주기는 500 μm 였다. 이 때, 격자의 pitch는 405.9nm이고, 샘플 격자의 pitch는 250 μm 이다. 또한, λ_s 의 비율이 1:1이 되게 하기 위하여 평판도파로와 진폭 마스크의 거리를 적절하게 조절하였다. 샘플격자는 KrF Excimer(248nm) 레이저를 이용하여 5Hz, 320mJ의 파워로 30분동안 UV에 노출시켜 평판도파로 코어의 굴절률 변화를 야기시켜 제작하였다. 제작된 샘플격자의 길이는 10mm이다.

격자를 제작한 후 평판도파로 양쪽 끝에 광섬유 block을 연결하여 격자의 특성을 측정하였다. 광섬유 block의 한 쪽 끝은 측정 광원으로 광대역 광원인 LED를 연결하였으며, 다른 한 쪽은 ANDO사의 AQ-6310 광스펙트럼 분석기(OSA)를 연결하였다. 이 때, 평판도파로와 광섬유 block과의 결합 손실은 $\sim 0.5\text{dB}$ 였다. 그림 2는 제작된 샘플격자의 투과 스펙트럼을 나타낸다. 반사 피크의 중심파장은 각각 1312.02nm, 1313.26nm, 1314.46nm로 중심파장간의 간격은 $\sim 1.2\text{nm}$ 이다. 이 때, 각각의 투과도는 6dB, 16dB, 24dB로 반사율은 각각 $\sim 75\%$, $\sim 90\%$, $\sim 99\%$ 였다.

III. 듀얼 모드 레이저의 구현 및 특성 결과

듀얼 모드로 발진하는 외부 공진기 레이저를 구현하기 위

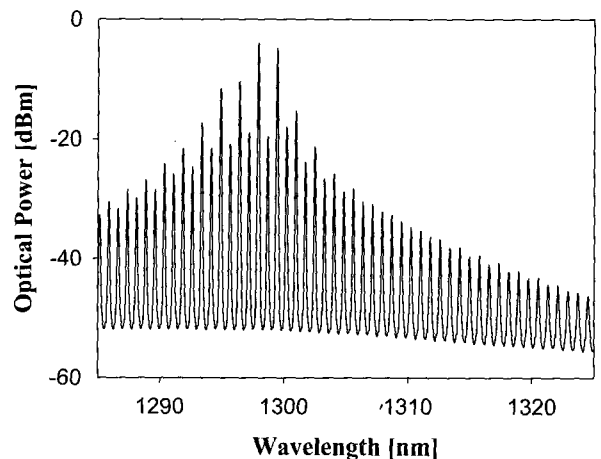


그림 3. 외부 공진기 레이저를 구현하기 전의 FP-LD 스펙트럼.

하여 앞서 구현한 샘플격자와 같이 FP-LD도 평판도파로에 하이브리드 집적시켰다. 사용한 FP-LD는 평판도파로와의 결합 손실을 줄여줄 수 있도록 spot-size converter가 집적된 LD(SS-LD)이며, 길이는 300 μm 였다. FP-LD의 앞면은 외부 공진기 레이저의 발진시 불필요한 반사 특성을 억제하도록 하기 위하여 $\sim 1\%$ 의 반사율로 AR(anti-reflection)코팅되어 있고, 뒷면의 반사율은 80%로 HR(high-reflection)코팅되어 있다⁸⁾. 그림 3는 샘플격자를 제작하여 외부 공진기 레이저를 구현하기 전의 FP-LD 파형을 나타낸다. FP-LD의 중심파장은 1300nm이며, 모드간격은 $\sim 0.78\text{nm}$ 이다.

듀얼 모드의 외부 공진기 레이저를 구현하기 위해서는 샘플격자의 대역폭이 FP-LD의 중 모드들과 일치하여야 한다. 이를 위하여 본 연구에 사용된 FP-LD의 모드간격이 $\sim 0.78\text{nm}$ 이므로 최소 2개 이상의 모드를 동시에 발진시키기 위하여 샘플격자의 대역폭이 최소한 $\sim 0.78\text{nm}$ 의 배수배를 갖아야 한다. 하지만 대역폭이 $\sim 0.78\text{nm}$ 의 배수만을 가질 경우 동시에 3개 이상의 모드에서도 발진이 일어날 수 있다. 따라서 그림 2에서와 같이 $\sim 1.2\text{nm}$ 의 대역폭을 갖고 있는 3개 피크의 샘플격자를 제작하여 듀얼 모드의 외부 공진기 레

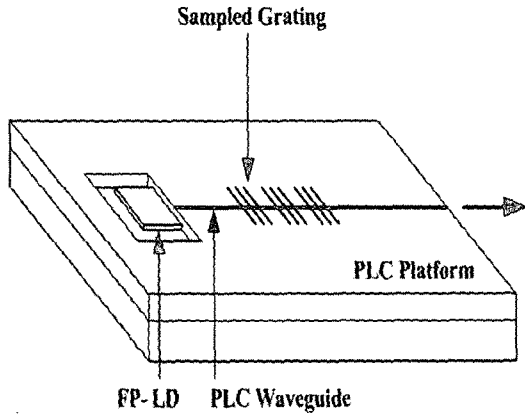
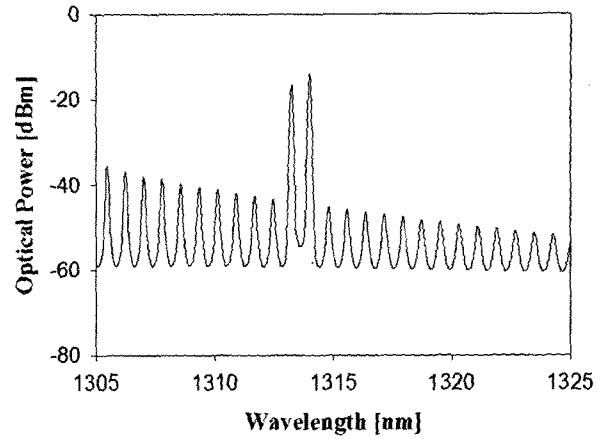


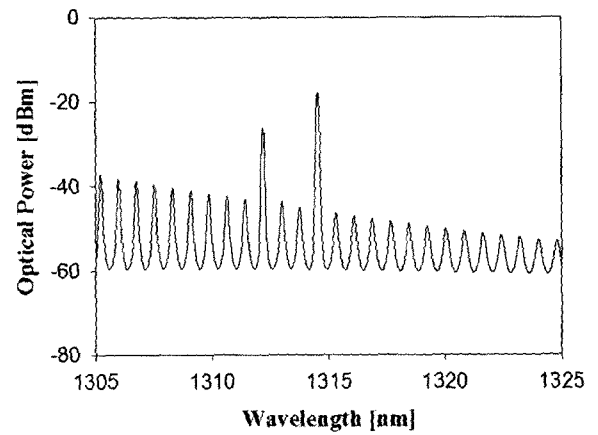
그림 4. 하이브리드 집적된 듀얼 모드 외부 공진기 레이저의 구성도.

이저를 구현하였다. 그림 4는 FP-LD와 샘플격자를 평판도파로에 하이브리드 집적시켜 듀얼 모드 외부 공진기 레이저를 구현했을 때의 구성도를 나타낸 것이다.

그림 5는 샘플격자를 외부 반사경으로 이용하여 듀얼 모드의 외부 공진기 레이저를 구현하였을 때의 발진 스펙트럼을 나타낸 것이다. 그림 5(a)는 50mA의 전류를 인가하였을 때의 발진 스펙트럼으로 중심 파장 1313.26nm, 1314.02nm에서 발진되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 앞서 언급한 샘플격자의 3개 채널 중 중심파장 1313.26nm, 1314.46nm와 FP-LD의 종 모드 중 2개의 모드가 일치하여 발진된 것이다. 그림 5(a)에서와 같이 1313.26nm에서는 높은 반사율을 가진 격자와 FP-LD의 종 모드가 일치하면서 발진되었고, 1314.46nm에서는 격자가 FP-LD의 종 모드와 약간 겹치면서 일치하여 2개의 모드가 동시에 발진하였다. 이 때의 두 발진 모드간의 주파수는 ~132GHz이다. 그림 5(b)는 55mA가 인가되었을 때의 발진 스펙트럼으로 1312.2nm, 1314.54nm 두 파장대에서 발진이 되었고 이는 샘플격자의 3개 채널 중에서 중심파장 1312.02nm와 1314.46nm의 모드와 FP-LD의 종 모드들 중 2개의 모드가 일치하면서 발진한 것이다. 이 때의 두 발진 모드간의 주파수는 ~406GHz이다. 이와 같이, 외부 공진기 레이저의 듀얼 모드간 주파수 간격의 가변은 인가되는 전류를 변화시켜 FP-LD의 종 모드들을 전체적으로 이동하게 하는 간단한 방법으로 가능하였다. 그림 5(a)에서의 듀얼 모드 레이저의 인접모드억압비(side mode suppression ratio)는 ~25dB로 비슷하지만 그림 5(b)에서의 듀얼 모드 레이저의 인접모드억압비는 각각 ~17dB, ~25dB로 약 8dB정도의 차이를 갖는다. 이는 샘플격자의 각 채널에서의 반사율의 차이에 기인한 것으로 판단된다. 격자가 외부 반사경으로서 외부 공진기 레이저를 구현하기 위해서는 적어도 3dB의 반사율을 가져야 한다¹⁷⁾. 본 실험시 전체 샘플격자의 길이를 10mm로 설계하여 제작하였는데 사전 실험시 격자 제작을 위한 UV 노출 시간이 길어짐에 따라 반사 피크가 하나씩 증가하는 경향을 보였다. 샘플격자의 투과 스펙트럼에 있는 1313.26nm, 1314.46nm에서의 반사 피크는 UV빔을 주사하자 빠른 시간 내에 격자가 생성되기 시작하여 ~16dB이상의 반사율을 가



(a)



(b)

그림 5. 외부 공진기 레이저의 발진 스펙트럼 변화.

졌지만, 1312.02nm에서의 반사 피크는 30분 정도 UV빔에 노출되어서야 3dB이상의 반사율을 가질 수 있었다. 따라서 UV 노출 조건을 향상시키는 경우 1312.02nm에서의 반사율도 균일하게 높여줄 수 있을 것이다. 또한, 샘플격자의 반사 피크가 많이 생기도록 설계하여 제작하면 동시에 3개 이상으로 발진하는 외부 공진기 레이저를 구현할 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 평판도파로 상에 FP-LD와 샘플격자를 하이브리드 집적하여 듀얼 모드로 발진하는 외부 공진기 레이저를 제안하였다. 사용된 FP-LD의 모드 간격에 의하여 두 개의 발진모드를 갖게 하기 위하여 샘플격자의 채널 간격이 1.2nm의 대역폭을 갖도록 설계하였고, 이를 구현하기 위하여 샘플격자 제작시 진폭 마스크 주기를 500nm로 하였다. 이와 같이 설계하여 3개 채널의 샘플격자를 제작하였고, 이를 외부 반사경으로 이용하여 외부 공진기 레이저를 구현하였으며 인가되는 전류를 변화시킴으로써 beat frequency를 변경 가능한 듀얼 모드의 레이저를 구현할 수 있었다. 본 논문

에서 제안하는 외부 공진기 레이저는 일반적인 DFB-LD에 비해 높은 온도 안정성, 가격 경쟁력을 가질 뿐만 아니라 샘플 격자를 이용하여 한 시스템으로 듀얼 모드로 발진시키는 장점을 가진다. 또한, 평판도파로에 하이브리드 집적 기술을 이용하여 본 연구에서 구현한 듀얼 모드 외부 공진기 레이저는 집적 소자가 가지는 소형, 안정성 및 대량 생산등의 장점도 가지기 때문에 WDM 광통신 및 테라헤르츠 광원 분야에 적용될 가능성이 높다.

감사의 글

이 논문은 2005년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2005-000-10252-0).

참고문헌

[1] H. Toba, K. Oda, K. Nakanishi, N. Shibata, K. Nosu, N. Takato, and M. Fukuda, "A 100-ch optical WDM transmission/distribution at 622Mbps/s over 50km," *J. Lightwave Technol.*, Vol. 8, pp. 1396-1401, 1990.

[2] M. Koga, Y. Hamazumi, A. Watanabe, S. Okamoto, H. Obara, K. Sato, M. Okuno, and S. Suzuki, "Design and performance of an optical path cross-connect system based on wavelength path connect," *J. Lightwave Technol.*, Vol. 14, pp. 1106-1119, 1996.

[3] Jun-Ichi Hashimoto, T. Takagi, T. Kato, G. Sasaki, M. Shigehara, K. Murashima, M. Shiozaki, 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.

[4] F. N. Timofeev, G. S. Simin, M. S. Shatalov, S. A. Gurevich, P. Bayvel, R. Wyatt, I. Lealman, R. Kashyap, "Experimental

and Theoretical Study of High Temperature-Stability and Low-Chirp 1.55 μm Semiconductor Laser with an External Fiber Grating," *Fiber & Integrated Optics*, Vol. 19, no. 4 pp. 327-354, 2000.

[5] R. J. Campbell, J. R. Armitage, G. Sherlock, D. L. Williams, R. Payne, M. Robertson, R. Wyatt. "Wavelength stable uncooled fibre grating semiconductor laser for use in an all optical WDM access network," *Electron. Lett.* Vol. 32, no. 2, pp. 119-120, 1996.

[6] Toshiya Sato, Fumihiko Yamamoto, Khoji Tsuji, Hiroki Takesue, 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.

[7] J. H. Lim, J. H. Song, R. K. Kim, K. S. Lee, and J. R. Kim, "External Cavity Laser with High-Sidemode Suppression Ratio using Grating-Assisted Directional Coupler," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol. 17, no. 11, pp. 2430-2432, 2005.

[8] R. K. Kim, J. H. Lim, J. H. Song, and K. S. Lee, "Highly Linear-Polarized External Cavity Lasers Hybrid Integrated on Planar Lightwave Circuit Platform," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol. 18, no. 4, pp. 580-582, 2006.

[9] Vijaysekhar Jayaraman, Zuon-Min Chuang, and Larry A. Coldren, "Theory, Design, and Performance of Extended Tuning Range Semiconductor Lasers with Sampled Gratings," *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. 29, no. 6, pp. 1824-1834, 1993.

[10] Chunn-Yenn Lin, Gia-Wei Chern, and Lon A. Wang, "Periodical Corrugated Structure for Forming Sampled Fiber Bragg Grating and Long-Period Fiber Grating with Tunable Coupling Strength," *IEEE JOURNAL OF LIGHT-WAVE TECHNOLOGY*, VOL. 19, NO. 8, AUGUST 2001.

Beat Frequency Switchable Dual-mode External cavity laser

Chul Seop Kim, Ryun Kyung Kim and Kyung Shik Lee[†]

School of Information and Communications Engineering, SungKyunKwan University, Suwon, 440-746, Korea.

[†]E-mail: kslee@ece.skku.ac.kr

Jeong Hwan Song and YunKyung Oh

Telecommunication Module Lab, Telecomm R&D Center, Samsung Eletronics, Suwon, Korea

(Received November 21, 2006, Revised manuscript December 23, 2006)

We demonstrate a beat frequency-Switchable dual-mode external cavity laser hybrid integrated on planar lightwave circuit with an FP-LD and a sampled grating as external reflector. The dual-mode external cavity laser was able to switch its beat frequency from 132GHz to 406GHz by changing LD current from 50mA to 55mA.