

論文98-35D-9-5

# Transient chirp 측정을 이용한 Modulator 집적 DFB 레이저 모듈의 특성해석

(Transient Chirp Analysis of MI-DFB Laser Module)

吳 玠 京 \* , 郭 桂 達 \*\*

(Yun Kyung Oh and Kae Dal Kwack)

## 요 약

Modulator가 집적된 DFB 레이저 (MI-DFB Laser) 모듈의 chirp 특성을 해석하기 위하여 transient chirp 측정 방법으로 modulation 전압을 작게 하여 modulator bias 전압변화에 따른 chirp 변화를 측정하였다. Transient chirp 측정을 위하여 monochromator와 digitizing oscilloscope를 이용하여 측정시스템을 구성하였다. 측정 결과 MI-DFB 레이저 모듈의 modulator bias 전압에 따른 chirp의 변화를 직접적인 파장변화로 확인할 수 있었으며 이 방법은 패키지 특성을 포함하는 보다 정확한 chirp의 변화를 나타낸다. Modulator bias 전압에 따라 측정된 결과로부터 계산된 chirp parameter 와 peak-to-peak chirp 값도 비교하였는데 그 경향이 일치하였다. 이 측정 결과는 모듈의 chirp 특성을 정확히 해석하여 시스템 적용 조건을 설정하는데 매우 유용하리라 생각한다.

## Abstract

A transient chirp measurement was used to analyze the chirping characteristics of modulator integrated DFB (MI-DFB) laser module. This method measures the wavelength change due to a small variation in modulation with bias. The measurement system includes a monochromator and digitizing oscilloscope. The chirping characteristics due to packaging influences can also be accounted for. The chirp parameter calculated using this method was compared with the peak-to-peak chirp. They showed the same tendency with modulator bias voltage. These results can be used as a reference when optimizing system parameters.

## I. 서 론

Modulator가 집적된 1.55 $\mu$ m DFB 레이저(Modulator Integrated DFB Laser : MI-DFB Laser)는 작은 chirp 특성으로 인해 초고속, 장거리 광통신 시스템의 광원으로서 그 연구가 활발히 진행되고 있으며

WDM(Wavelength Division Multiplexing) 시스템의 광원으로도 그 응용범위가 계속 확대되고 있다<sup>[1-4]</sup>. 초고속, 장거리 통신을 위해서는 작은 chirp 특성 뿐만이 아니라 패키지도 고속변조에 알맞도록 설계되어야 하고 이 패키지 특성을 포함하는 모듈의 특성이 정확하게 해석되어야 실제 MI-DFB 레이저가 시스템에 적용되었을 때의 특성을 예측, 해석할 수 있다. MI-DFB 레이저의 chirp은 modulator 자체의 chirp과 DFB 레이저의 chirp으로 구성되는데 DFB 레이저의 chirp은 반사광에 의한 chirp과 레이저와 modulator 사이의 전기적 분리가 완전하지 못하여 modulator를 변조하는 신호가 레이저로 전달되면서

\* 正會員, 三星綜合技術院 光電子 Lab.

(Photonics Lab., Samsung Advanced Institute of Technology)

\*\* 正會員, 漢陽大學校 電子工學科

(Electronic Eng. Dept., Hanyang Univ.)

接受日字:1998年7月20日, 수정완료일:1998年8月24日

발생하는 분리지항에 의한 chirp으로 구성된다<sup>[5]</sup>. 통상의 DFB 레이저의 chirp은 modulator chirp 보다 그 크기가 크고, 디지털 신호를 fiber를 통하여 전송할 때 광신호가 증가하는 부분에서는 파장이 짧아지고 광신호가 1의 값에서 0으로 감소하는 부분에서는 파장이 길어지는 positive chirp 특성을 갖는다. EA(Electro-absorption) modulator는 동작조건에 따라 레이저와 같은 positive chirp과, 레이저와는 반대로 나타나는 negative chirp이 나타날 수 있다. 이러한 레이저와 modulator를 하나의 chip으로 만든 MI-DFB 레이저는 두 소자의 특성이 동시에 나타나며 레이저에 의한 chirp을 감소시키기 위하여 modulator facet에 anti-reflection (AR) coating을 하고 레이저와 modulator 사이를 etching하거나 proton implant 등의 방법을 사용하고 있다<sup>[6]</sup>. Modulator에서 chirp parameter를 측정하는 방법으로는 소신호 특성을 이용하여 측정하는 fiber response peak 방법<sup>[7]</sup>과 transient chirp을 측정하여 측정결과로부터를 계산하는 방법 등이 사용된다<sup>[8]</sup>. Fiber response peak 방법은 분산을 갖는 fiber를 통과하였을 때의 소신호 특성과 fiber를 통과하지 않을 때의 직접적인 소신호 특성을 비교하여 chirp을 계산하는 방법이므로 실제로 modulation 되는 chip 자체의 특성을 알 수 있는 반면 패키지 특성은 포함되지 않으며 측정하고자 하는 샘플(모듈 또는 chip)의 주파수 대역폭이 충분히 넓어야 정확한 특성을 측정할 수 있다. 그러므로 이 방법으로 측정된 chirp은 chip 자체의 특성은 잘 나타내지만 실제 시스템에 적용되는 모듈에서는 모듈의 주파수 특성을 포함한 chirp 특성이 고려되어야 하므로 이 chirp만으로 정확한 동작조건을 찾기에는 충분치 못하다. Transient chirp은 실제의 동작조건에서 파장의 변화를 직접적으로 측정하는 것으로 chip뿐만 아니라 모듈의 특성이 모두 포함된 실제적인 chirp 특성을 알 수 있다.

본 논문에서는 MI-DFB 레이저 모듈의 패키지 특성을 포함한 modulator bias 전압에 따른 chirp 특성을 측정하기 위하여, 처음으로 modulation 신호를 작게 하여 transient chirp 측정 방법으로 chirp을 측정하였으며, modulator의 bias 조건에 따라 positive chirp에서 negative chirp으로 변하는 것을 실제적인 파장변화로부터 확인하였다. 측정 결과를 이용하여 계산한 chirp parameter와 본 실험에서 사용한 실제적

인 peak to peak 파장변화도 비교하였다. 이 방법은 모듈의 패키지 특성을 포함하기 때문에 시스템 적용에 사용할 수 있는 직접적인 결과이다. 또한 이 방법으로 MI-DFB 레이저의 adiabatic chirp 특성도 확인할 수 있었다.

## II. 본 론

### 1. MI-DFB 레이저의 기본특성

MI-DFB 레이저는 레이저와 modulator를 하나의 기판에 집적한 소자로서 선택 영역 성장법, 레이저를 먼저 성장한 후 식각하고 다시 modulator를 성장하는 butt coupling 방법 등으로 제작하고 있다<sup>[9-10]</sup>. 본 실험에 사용된 MI-DFB 레이저 모듈은 선택영역 성장방법으로 만들어진 chip을 butterfly 모듈에 장착한 것으로 chip 온도를 조절하기 위한 thermo-electric cooler와 외부 귀환광을 차단하는 optical isolator를 내장하고 있으며 modulator의 전기적인 impedance 정합을 위해서 modulator와 병렬로 50 ohm의 저항이 붙어있는 모듈이다. 그 기본특성을 그림 1과 2에 나타내었다.

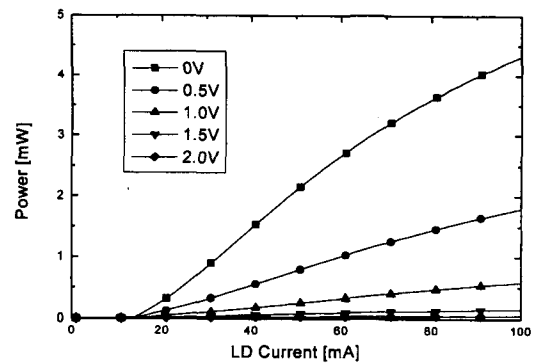


그림 1. MI-DFB 레이저의 modulator 전압에 따른 레이저 전류, 광출력 특성

Fig. 1. Laser current-optical power characteristics of MI-DFB laser with variations of modulator bias voltage.

그림 1은 modulator 전압의 변화에 따른 레이저 전류-광출력의 특성으로 modulator의 전압이 증가함에 따라 광출력이 급속히 감소함을 알 수 있다. 이것을 하나의 레이저 구동전류에서의 DC 소광비로 나타낸 것이 그림 2이다. 그림에서 전류가 증가함에 따라 소광비가 더욱 커지는 경향은 hole pile-up으로 설명

할 수 있다. 즉 modulator의 전압이 낮은 경우, 레이저에서 입사하는 빛의 세기가 크면 modulator의 시작 부분에 많은 carrier가 발생하게 되고 광 흡수율은 떨어지게 되어 modulator를 통과하는 빛의 양이 증가하게 된다.

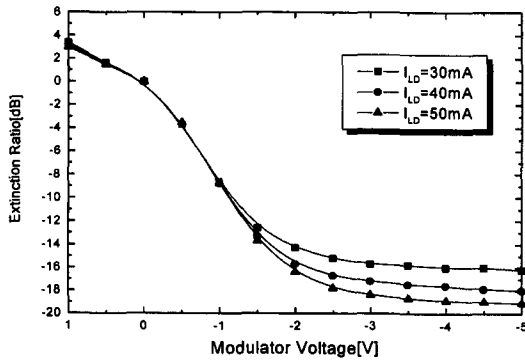


그림 2. Modulator 전압 변화에 따른 소광비의 변화  
Fig. 2. Attenuation characteristics with modulator bias voltage.

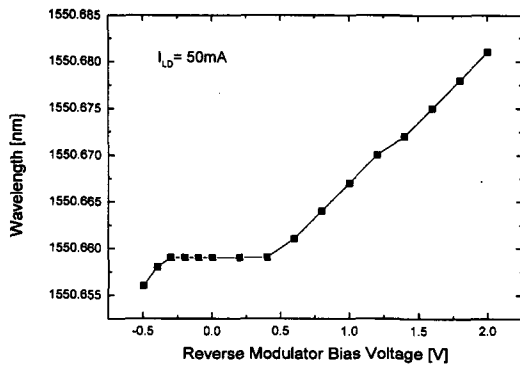


그림 3. Modulator bias 전압에 따른 파장의 변화  
Fig. 3. Wavelength variations with modulator bias voltage.

그림 2에서는 0V의 modulator 전압을 기준으로 소광비를 나타내어 높은 전압에서 소광비가 커지는 것으로 보이지만 실제로는 0V 영역의 광출력이 레이저 전류증가에 따라 더욱 큰 비로 증가하는 것으로 설명할 수 있다. 그림 3은 modulator 전압에 따른 발진파장의 변화를 나타낸다. Modulator의 전압이 0.5V 이상에서는 0.125A/V의 변화률로 파장이 증가하는 것을 알 수 있다. Modulator 전압변화에 따른 파장의 변화는 MI-DFB 레이저에서 modulator의 전압이 바뀌면서 modulator 내의 전하가 변화하게 되어 발생하는 굴절률 변화와 빛의 흡수율이 비례적으로 해서 mo-

dulator 끝에서 반사되어 귀환하는 광량의 변화 등에 의해 레이저의 공진 조건에 기여하는 modulator 경계면에서의 유효 반사율이 변화하여 파장이 변화하는 것으로 설명할 수 있다<sup>[11]</sup>. 이 파장의 변화는 adiabatic chirp을 나타낸다.

2. Transient chirp 특성

위와 같은 DC 특성을 갖는 MI-DFB 레이저 모듈의 transient chirp을 측정하기 위하여 monochrometer와 digitizing oscilloscope를 이용한 time resolved chirp 측정 시스템을 구성하였다<sup>[12]</sup>. 시스템 구성도를 그림 4에 나타내었는데 LD를 일정전류로 구동하면서 pulse pattern generator로 modulator를 변조하고 변조된 광을 EDFA로 증폭시킨 후 이 신호를 monochrometer(HP70951B optical spectrum analyzer)를 통과시켜 각 시간에서의 파장의 변화를 관찰하였다.

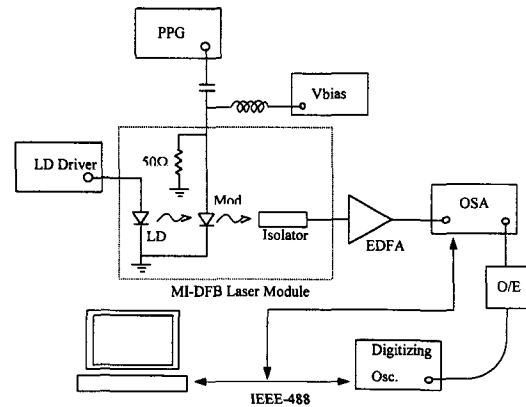


그림 4. Transient chirp 측정 시스템 구성도  
Fig. 4. Transient chirp measurement setup.

측정은 computer program을 통해 하나의 modulator bias 조건에서 측정에 걸리는 시간이 5분 이내가 되도록 하였다. Transient chirp의 측정은 대부분 측정되는 소자의 실제 동작조건, 즉 data를 전송하기 위한 조건에서 이루어지는 것이 보통이지만 본 실험의 목적이 modulator의 각 bias 조건에 따른 chirp의 크기를 해석하기 위한 것이기 때문에 우리는 PPG의 modulation 전압을 가능한 최소로 하여 (0.5Vp-p) 각 bias 조건에 따른 변화를 관찰하였다. EA modulator의 경우는 전압변화에 따른 흡수 spectrum의 변화를 사용하여 빛을 변조하고 이 때의

chirp은 modulator의 bias 조건에 따른 굴절률과 흡수율의 변화에 의해 결정된다. Kramers-Krnig 관계식에 의하면 파장과 bias 조건에 따라 positive 값, 혹은 negative 값을 가질 수 있다<sup>[13]</sup>. 또한 실제 동작 조건에서는 대부분 positive chirp과 negative chirp이 함께 존재하기 때문에 실제 동작 조건에서의 측정만으로는 각 bias 점에서의 chirp의 변화를 해석하기가 쉽지 않다<sup>[14]</sup>. 그러므로 이와 같은 작은 신호로 modulation하는 방법은 각 bias에서의 chirp의 변화를 정확하게 해석할 수 있는 방법이라 생각한다.

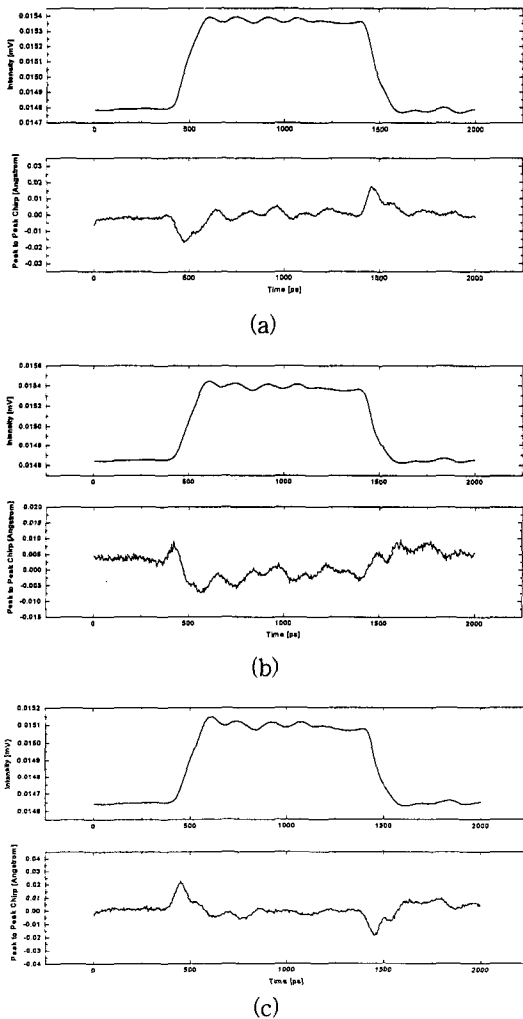


그림 5. Modulator bias 전압에 따른 transient chirp의 변화 (a)  $V=-0.4V$ , (b)  $V=-1.0V$ , (c)  $V=-1.8V$   
Fig. 5. Transient chirp characteristics of MI-DFB laser module. (a)  $V=-0.4V$ , (b)  $V=-1.0V$ , (c)  $V=-1.8V$

그림 5는 modulator의 bias 전압변화에 따른 chirp

의 변화를 나타낸다.  $0.4V$ 의 modulator bias에서는 positive chirp을 정확하게 확인할 수 있으며  $1.8V$ 의 modulator bias에서는 negative chirp을 확인할 수 있다. 또한  $1V$ 의 bias 조건에서는 transient chirp의 양은 줄어들고 adiabatic chirp을 확인할 수 있다.

그림 3에서의 adiabatic chirp양은  $0.125A/V$ 정도였으나 transient chirp 측정에서는  $0.02A/V$ 정도로 adiabatic chirp이 많이 감소했음을 알 수 있다. 이 부근이 chirp이 0이 되는 부분이라는 것을 알 수 있다. 그림은  $1\text{ Gbit/s}$ 의 PRBS(pseudo random bit sequence)에서 하나의 pulse 모양에 대한 변화를 보인 것으로 이것은 각 bias 조건에 따른 chirp의 변화를 정확하게 해석하기 위한 것이고 chirp에 가장 영향을 많이 주는 pulse generator의 rising, fall time은 주파수에 관계없이 일정하므로 이 결과를  $2.5\text{Gbps}$  등과 같은 실제 동작조건에 적용하는 것은 무리가 없을 것으로 생각된다. 그림 6은  $2.5\text{Gbps}$ 로 modulation 하였을 때의 chirp특성으로 그림5와 같은 변화를 갖는 것을 알 수 있다. 측정된 data를 이용하여 chirp parameter를 계산하여 그 변화를 알아보았다. Chirp parameter  $\alpha$ 는 다음과 같은 식으로 계산할 수 있다.

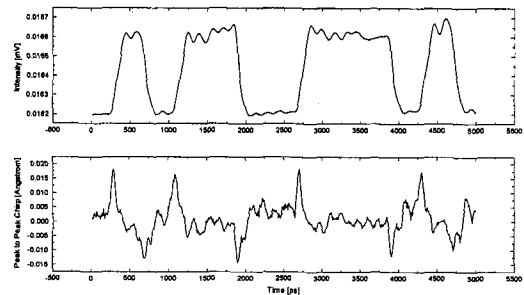


그림 6.  $2.5\text{Gbit/s}$ 의 modulation 신호에 대한 transient chirp 특성 ( $V=-1.5V$ )

Fig. 6. Measured output data and transient chirping of  $2.5\text{Gbit/s}$  PRBS data.

$$\alpha = 2 \frac{d\phi}{dt} / \left( \frac{1}{S} \frac{dS}{dt} \right) \quad (1)$$

여기서  $\phi$ 는 phase를 나타내고  $S$ 는 광출력을 나타낸다. 이 식의 phase 변화를 파장의 변화로 바꿔 쓰면 다음과 같이 된다.

$$\alpha = 4\pi \left( -\frac{c}{\lambda^2} \delta\lambda \right) / \left( \frac{1}{S} \frac{dS}{dt} \right) \quad (2)$$

위의 식을 이용하여 modulator bias  $0.4V$ 에서의 측

정 data와 계산 data를 비교한 것이 그림 7이다.

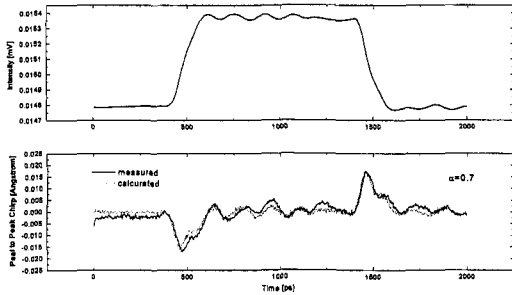


그림 7. 측정된 chirp과 계산된 chirp 특성 (V=-0.4V)  
Fig. 7. Measured and calculated chirping curves. (V=-0.4V)

그림에서 0.4V의 bias 조건에서 측정된 값과 계산된 값을 비교하였는데 이 전압에서는 adiabatic chirp이 거의 나타나지 않으므로 측정치와 계산치가 매우 잘 일치함을 알 수 있다. 이러한 방법으로 각 bias에서 chirp parameter를 계산하여 측정된 peak to peak chirp과 함께 타낸 것이 그림 8이다. 그림 5(b)와 같이 adiabatic chirp이 나타나는 부분에서는 이 adiabatic chirp을 제외한 rising edge의 파장변화를 나타낼 수 있는  $\alpha$ 를 선택하였다. 그림에서 chirp parameter와 peak-to peak chirp의 변화는 그 경향이 매우 잘 일치함을 알 수 있다. 실험에 사용된 MI-DFB 레이저 모듈은 1~1.1V 사이에서 chirp의 값이 0이 됨을 알 수 있고 chirp parameter 값도 DFB 레이저보다 그 크기가 2~3배 작음을 알 수 있다.<sup>[15]</sup>

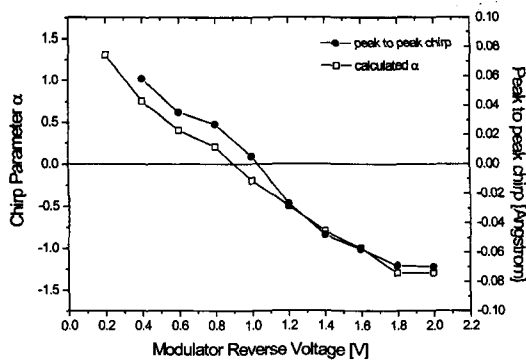


그림 8. Modulator bias voltage에 따른 chirp parameter와 peak-to-peak chirp 변화  
Fig. 8. Variations of chirp parameter and peak-to-peak chirp with modulator bias voltage.

### III. 결 론

Modulator가 집적화된 DFB 레이저 모듈의 chirp 특성을 transient chirp 측정방법으로 해석하였다. Transient chirp 측정을 위해 monochrometer와 digitizing oscilloscope를 이용하여 측정 시스템을 구성하였으며 modulator 전압변화에 따른 chirp의  $\alpha$  변화를 알아보기 위하여 modulation 신호를 작게하여 (0.5Vp-p) transient chirp을 측정하였다. 측정 결과, 실험에 사용된 MI-DFB 레이저 모듈은 1~1.1V의 modulator 역 bias 조건에서 zero chirp을 갖는 것을 알 수 있었으며 이 측정방법은 기존의 fiber response peak 방법과 비교해서 패키지 특성을 포함하는 실제적인 chirp 특성을 잘 나타내었다. 또한 fiber response peak 방법으로는 나타낼 수 없는 adiabatic chirp도 확인할 수 있었다. 측정된 결과로부터 chirp parameter를 계산하여 bias 변화에 따른 변화를 알아보았으며 peak-to-peak chirp 값과 계산된  $\alpha$  값의 변화는 그 경향이 매우 잘 일치하였다. 결론적으로 본 측정방법은 패키지 특성을 포함한 MI-DFB 레이저 모듈의 chirp 특성을 기존의 방법보다 더욱 정확히 해석할 수 있으며 이 측정 결과는 모듈을 실제 시스템에 적용하여 구동 조건을 설정하는데 매우 유용한 정보를 줄 수 있으리라 생각한다.

### 감사의 글

※ 본 논문에서 사용한 측정 시스템과 실험 방법에 대해 많은 조언과 도움을 주신 고려대학교 정지해 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

### 참 고 문 헌

[ 1 ] D.Lesterlin, S.Artigoud, H. Haisch, "Integrated Laser/Modulators for 10 Gbit/s systems", 22nd European Conference on Optical Communication, ECOC'96, pp. 3.183-3.190, 1996.  
[ 2 ] M.Aoki, M.Suzuki, H.Sano, T.Kawano, T.Ido, T.Taniwatari, K.Uomi, and A. Takai, "InGaAs/InGaAsP MQW Electroabsorption Modulator Integrated with a DFB Laser Fabricated by Band-Gap

- Energy Control Selective Area MOCVD”, IEEE J. Quantum Electron., vol. 29, pp. 2088-2096, 1993.
- [ 3 ] M.Aoki, M.Komori, H.Gomyo, K.Kuboki, Y.Okuno, H.Serizawa, K.Uomi, and S.Sasaki, “High-speed (24GHz) and Low-Drive-Voltage (2V) Selectively-Grown Integrated Electroabsorption-Modulator/DFB-Laser for WDM Systems”, 2nd Optoelectronics & Communications Conference (OECC'97) Technical Digest, pp. 456-457, 1997.
- [ 4 ] M.Ishizaka, M.Yamaguchi, Y.Sakata, Y.Inomoto, J.Shimizu, and K.Komatsu, “Modulator Integrated DFB Lasers with more than 600km Transmission capability at 2.5Gb/s”, ECOC'97, pp. 163-166, 1997.
- [ 5 ] M.Yamaguchi, T.Kato, T.Sasaki, K.Komatsu, and M.Kitamura, “Requirements for Modulator-Integrated DFB LD's for Penalty-Free 2.5-Gb/s Transmission”, J. Lightwave Technol., vol. 13, pp. 1948-1954, 1995.
- [ 6 ] M.Aoki and H.Sano, “High-performance modulator/integrated light sources grown by an in-plane band-gap energy-control technique”, OFC'95 Technical Digest, pp. 25-26, 1995.
- [ 7 ] F. Devaux, Y. Sorel, and J. F. Kerdiles, “Simple Measurement of Fiber Dispersion and of Chirp Parameter of Intensity Modulated Light Emitter”, J. Lightwave Technol., vol. 11, pp. 1937-1940, 1993.
- [ 8 ] Jichai Jeong and Y. K. Park, “Accurate determination of transient chirp parameter in high speed digital lightwave transmitters”, Electron. Lett. vol. 33, pp. 605-606, 1997.
- [ 9 ] T.Tanbun-Ek, Y.K. Chen, J.A. Grenko, E.K. Byrne, J.E. Johnson, R.A. Logan, A. Tate, A.M. Sergeant, K.W. Wecht, P.F. Sciortine, Jr., and S.N.G. Chu, Integrated DFB-DBR laser modulator grown by selective area metalorganic vapor phase epitaxy growth technique, J. Crystal Growth, vol. 145, pp. 902-906, 1994.
- [ 10 ] M.Suzuki, Y.Noda, H.Tanaka, S.Akiba, Y.Kushiro, and H.Isshiki, Monolithic Integration of InGaAsP/InP Distributed Feedback Laser and Electroabsorption Modulator by Vapor Phase Epitaxy, J. Lightwave Technol., vol. 5, pp. 1277-1285, 1987.
- [ 11 ] M.Aoki, S.Takashima, Y.Fujiwara, and S.Aoki, New Transmission Simulation of EA-Modulator Integrated DFB-Lasers Considering the Facet Reflection-Induced Chirp, IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 9, pp. 380-382, 1997.
- [ 12 ] R.A.Linke, Modulation Induced Transient Chirping in Single Frequency Lasers, IEEE J. Quantum Electron., vol. 21, pp. 593-597, 1985.
- [ 13 ] F.Devaux, S.Chelles, A.ougazzaden, A. Mircea, and J.C.Harmand, Electroabsorption modulators for high-bit-rate optical communications: a comparison of strained InGaAs/InAlAs and InGaAsP/InGaAsP MQW, Semicond. Sci. Technol. vol. 10, pp. 887-901, 1995.
- [ 14 ] M.Ishizaka, M.Yamaguchi, J.Shimizu, and K.Komatsu, The Transmission Capability of a 10-Gb/s Electroabsorption Modulation Modulator Integrated DFB Laser Using the Offset Bias Chirp Reduction Technique, IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 9, pp. 1628-1630, 1997.
- [ 15 ] 오윤경, 광계달, Strained MQW DFB 레이저의 광출력에 따른 Linewidth Enhancement Factor의 변화, 대한전자공학회 논문지 제35권 D편 pp. 15-20, 1998

---

저 자 소 개

---

吳 玠 京(正會員) 第 32卷 A編 第 11號 參照  
한양대학교 대학원 전자공학과 박사  
과정. 삼성종합기술원 광전자 Lab.  
전문연구원

郭 桂 達(正會員) 第 34卷 D編 第 7號 參照  
한양대학교 전자공학과 교수