

반도체 레이저의 저주파 변조특성의 회로 모델

\*0                      \*\*                      \*  
 소 준 호 , 김 성 일 , 홍 완 희 \*  
 \* 서울 시립대학교 전자공학과  
 \*\* 경원 대학교 전자공학과

Circuit Models for Low Frequency Modulation Characteristics of Semiconductor Lasers

\*0                      \*\*                      \*  
 Jun-Ho So , Sung-Il Kim , Woan-Hue Hong  
 \* Dept of Electronic Engineering, Seoul City University  
 \*\* Dept of Electronic Engineering, Kyung-Won University

Abstract

The most attractive feature of semiconductor lasers as sources for coherent optical communication system is the ability to produce frequency modulation by modulation of the bias current. The frequency deviation of semiconductor lasers under direct modulation depends on the laser structure and modulation frequency. This paper describes a circuit modeling techniques for the directly frequency modulated CSP (Channeled Substrated Planner) semiconductor laser. Predictions from this model are compared with the other published results of sinusoidal frequency modulation below than 1 GHz.

서는 실험치와 잘 일치하고 있다. 그러나 온도특성이 지배적인 구간인 낮은 변조 주파수 영역에서는 심각한 계약을 받고 있다는 것을 고려해야만 한다. [7]

따라서 본 논문에서는 온도특성이 고려된 1 GHz 미만의 낮은 변조 주파수 영역에서 반도체 레이저의 주파수 변조특성을 전기회로로 모델링하는 방법을 제시 하였다.

1. 서 론

오늘날 광섬유 통신시스템은 비록 IM/DD(Intensity modulation/Direct Detection) 방식이 사용되고 있으나 미래에 실현될 코히어런트 광섬유 전송시스템, 광섬유 및 광 해터도다인 수신 방식이 사용됨으로써 증계의 거리와 전송용량의 증대가 기대되고 있다. [1-3]

최근 바이어스 전류를 직접 변조시켜 주파수 변조를 얻을 수 있는 반도체 레이저를 코히어런트 광통신 방식에 사용하고자 하는 연구가 수차례 발표된바 있다.

[3-4] 반도체 레이저의 직접 변조시 유기되는 주파수 편이와 칩(chirp)의 효과는 광섬유 전송거리 및 용량에 심각한 제한 조건이 되고 있다. 근간 이러한 특성의 개선을 위한 일환으로 반도체 레이저의 변조 전류에 따른 주파수 편이를 예견하고자 하는 시도가 활발히 연구되고 있다. [5-6] 그런데 이들의 결과는 음 방정식(rate equation)을 이용하여 단지 캐리어 농도 효과만 고려되어서, 약 100MHz 이상의 변조 주파수에

2. 반도체 레이저의 주파수 변조 특성과 시스템 모델링

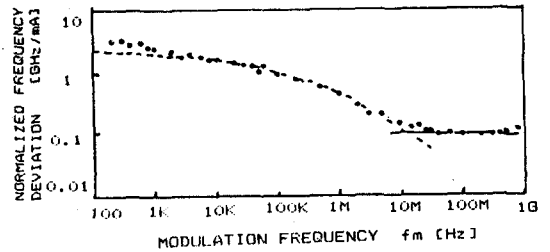


그림 1. 단위 변조전류에 대한 주파수 편이  
 Fig 1. Frequency deviation per unit sinusoidal modulation current amplitude.

그림 1.은 CSP레이저(Hitachi HLP 1400)의 전형적인 주파수 변조 응답을 보여주고 있다. 이것과 구조가 다른 여러가지 CSP 레이저들의 응답도 대체로 비슷한 경향을 갖는다. [8] [9] [10] 칩류에서부터 약 10 MHz 근처 까지의 변조주파수 영역에서는 주파수 변조 응답이 저주파 필터의 특성을 보여 주고 있으며, 10 MHz에서 1 GHz까지는 평탄한 특성을 보이고 있다.

위상 특성은 직류에서 0도에서 시작하며, 특성이 평탄해짐에 따라 적어도 180도 정도로 변한다. [6] 이같은 현상은 반도체 레이저의 주파수 변조 응답을 결정하는 두가지 요소에 의해 설명 되어질 수 있다. 첫번째는 CSP 레이저 공진기의 열적 반응 이다. 바이어스 전류를 변조시키면 레이저의 저항열이 변화한다. 전류가 증가함에 따라, 온도가 올라가며, 적은 양이지만 공진기의 상당한 증가가 발생하며, 이것은 공진파장의 증가를 야기시킨다. 두번째는 레이저의 캐리어농도에 따른 응답이다. 바이어스 전류가 증가함에 따라 평형 캐리어 농도가 작은양이지만 증가하며, 이것이 굴절율을 감소 시킨다. 따라서 레이저의 공진하는 파장이 감소하게 된다. 레이저의 주파수 변조 응답을 결정하는 것은 실제로 이들 두가지 요소에 전적으로 의존한다고 가정할 수 있으며, 이와같은 반도체 레이저의 변조 시스템은 온도응답 시스템과 캐리어 농도응답 시스템으로 이루어 졌다고 볼수 있고 그림 2. 와 식 (1)과 같이 시스템 모델링 할 수 있다.

$$C(S) = R(S)(H_t(S) - H_c(S)) \quad (1)$$

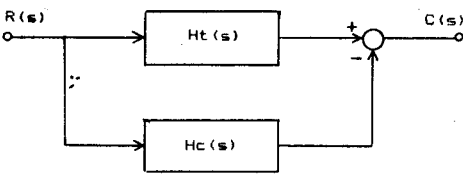


그림 2. CSP 레이저의 블록선도

Fig 2. Block diagram of CSP Laser.

여기서 R(s)는 입력신호, C(s)는 출력, Ht(s)는 온도 응답 시스템, Hc(s)는 캐리어 농도 응답 시스템 이다.

3. 반도체 레이저의 주파수 변조 시스템의 등가회로 모델링과 시뮬레이션

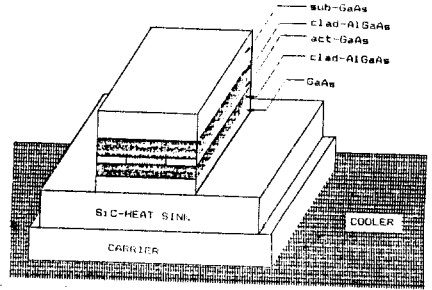


그림 3. 온도변조특성을 위한 CSP 레이저의 구조적 모델

Fig 3. CSP laser structural model used for temperature modulation characteristics

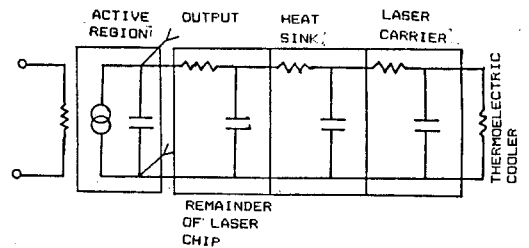


그림 4. 온도 응답 시스템의 회로 모델링

Fig 4. The circuit modeling of temperature response system

그림 3. 에 CSP 반도체 레이저의 구조를 보여주고 있다. 잘 설계된 레이저에는 바이어스 전류가 균일하게 능동 영역을 통해 흐르며 전류를 좁은 능동영역 안으로 밀집 시킨다. 이러한 현상이 저항을 증가시키며, 따라서 저항열이 발생하게된다. 능동 영역을 제외한 레이저 다이오드 칩의 나머지 부분은 방열판으로 동작한다고 볼 수 있다. 그림 3. 의 CSP레이저 각각의 영역에 해당되는 열용량과 열전도도를 구하여 열시정수를 구할수 있으며, 이로부터 회로 모델링이 가능하며, 능동영역의 부피는 작으며 결과적으로 작은 열 용량을 갖는다. 능동영역에서 발생하는 열은 균일하고 일정하다고 가정할수 있고, 그 용량이 작기 때문에 매우 짧은 열 시정수를 갖는다는 것을 예측할 수 있다. 실제로 능동영역의 열저항 (Rt)값은 45 [K/W]이고, 열용량 (Kh)는 1.0 [J/K] 가 된다. 열시정수는 이들 두 값의 곱으로 그값은 45 [nsec]가

된다. [11] 레이저 칩의 능동영역을 제외한 나머지 층(Layer)은 부피가 크기때문에 방열판(Heat sink)으로 작용하며, 열용량과 열저항에 따라서 능동영역보다 긴 열시정수인 0.38 [msec]를 갖는다. 보통 반도체 레이저는 다이아몬드나 SiC 방열판위에 부착하고, 다시 동판 위에 마운트 되며, 이 레이저 마운트를 열적안정을 주기 위해 펠티에(thermoelectric cooler) 소자로 온도제어하게 된다. 계산된 SiC의 열시정수는 3.387 [msec] 이고, 캐리어는 3.469 [sec]이다. 그리고 냉각기(cooler)는 열적안정을 주기위한 소자이므로 등가적으로 열저항으로만 볼 수 있으며 그 값은 수냉식의 경우 0.05 [ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ]이다. 이상의 복합적인 반도체 레이저의 열방출 시스템을 전기 회로로 모델화 하여 구한 등가회로가 그림 4.에 보여주고 있다.

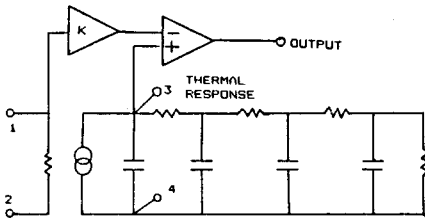


그림 5. CSP 레이저의 주파수변조응답 등가회로 모델  
Fig.5. Composite circuit model of CSP laser FM

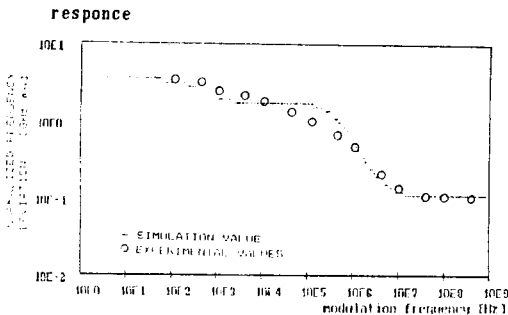


그림 6. 주파수 변조 특성의 시뮬레이션 결과  
Fig. 6. Simulation result of frequency modulation characteristics

캐리어 농도 응답은 2 3 GHz 에서 나타나고 있는 공진현상이 발생하기까지는 평탄하다. 이때 열적 응답과는 직류에서 180 위상차가 있다. 따라서 캐리어

응답은 주파수 영역에서 비례계수 K로 나타낼 수 있다. 그림5 에 이 회로를 보여주고 있다. 이 등가회로를 SPICE-2프로그램에 의하여 DC에서 1GHz까지 시뮬레이션한 결과 얻어진 특성은 그림6 과 같으며, 기존의 발표된 실험결과와 비교한 바 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 이제까지 반도체 레이저 주파수 변조 특성에서 제외되어 온 저주파 변조효과를 고려하기 위한 새로운 시스템 모델링을 시도하였다. 반도체 레이저의 바이어스 전류를 변조 시키면, 레이저의 능동영역이 변화한다. 전류가 증가함에 따라 온도가 증가하며, 공진기의 크기가 변화하고, 공진파장의 증가가 야기된다. 따라서 저주파 변조 주파수에 대해(10MHz미만) 반도체 레이저의 주파수 변조특성을 크게 변화시킨다. 이러한 온도의 변화는 저주파 영역에서 캐리어 농도의 변화보다도 상당히 크므로, 이것에 해당되는 CSP 레이저의 주파수 변조 ( 1GHz 미만 ) 에 대한 간단한 모델을 제시 하였다. 이 회로 모델은 일반적인 회로 시뮬레이션 프로그램에 의해 쉽게 해석할 수 있고 1GHz 미만의 저주파 영역에서 주파수 변조 특성을 쉽게 파악할 수 있는 특징이 있다.

#### 5. 참 고 문 헌

- [1] J.Salz, "Coherent Lightwave Communications", AT&T Technical Journal, Vol.64, No.10, pp 2153-2209, Dec.1985.
- [2] T.Okoshi, "Recent Advances in Coherent Optical Fiber Communication Systems", IEEE JLT, Vol.5, No.1, pp 44-52, 1987.
- [3] R. S. Vodhanel and A. F. Elrefail, "Bipolar Optical

- FSK Transmission Experiments at 150 Mbit/s and 1 Gbit/s", IEEE JLT, Vol. 6, No. 10, pp 1549-1553, Oct. 1988.
- [4] R. Noe et al, " New FSK Phase-Diversity Receiver in a 150 Mbit/s Coherent Optical Transmission System", Electronic Lett., Vol. 24, No. 9, pp 567-568 April 1988.
- [5] A. J. Lowery, " New Dynamic Semiconductor Laser model Based on the Transmissionline Modeling Method", IEEE Proceedings J., Vol. 134, No. 5, pp 281-289, Oct. 1987.
- [6] A. Sudbo et al, " Modeling of the Frequency Modulation Responce of Semicindector Diode Lasers ", IEEE JQE, Vol. 24, No. 4, pp 625-634, April 1988.
- [7] M. C. Carvalho and A. J. Seeds, " Simple Model for Frequency Modulation Characteristics of Semiconductor Laser ", Electronic Letters, Vol. 24, No. 24, pp 428-429, March 1988.
- [8] S. Kobayashi et al, "Direct Frequency Modulation in AlGaAs Semiconductor Lasers ", IEEE JQE, Vol. 18, No. 4, pp 582-595, April 1982.
- [9] H. Olesen and G. Jacobsen, " A Theoretical and Experimental Analysis of Modulated Laser Fields and Power Spectra", IEEE JQE, Vol. 18, No. 12, pp 2069-2080, Dec. 1982.
- [10] M. Ohtsu et al, "A novel Thecnique for Measuring the Frequency Deviation of Semiconductor Lasers Under Direct Modulation", Japanese JAP, Vol. 2, No. 1, pp 219-221, Jan. 1983.
- [11] S. Kobayashi et al, "Modulation Frequency Characteristics of Directly Optical Frequency Modulated AlGaAs Semiconductor Lasers", Electronics Lett., Vol. 17, No. 10, May 1981.

\* 본 연구는 한국과학재단의 연구비 지원에 의하여 수행된 것의 일부임.