

論文99-36D-2-10

SSGDBR 레이저 다이오드의 파장변환 특성 해석

(Analysis of Wavelength Conversion Characteristics in SSGDBR Laser Diode)

金秀炫*, 鄭榮哲*

(Su-Hyun Kim and Youngchul Chung)

요 약

다양한 파장변환 기술 중에서 레이저 다이오드의 발진상태에서 교차이득변조(Cross-Gain Modulation)을 이용한 파장변환은 고속의 신호를 매우 간단하고 효율적으로 처리할 수 있다. 본 논문에서는 SSGDBR (Superstructure Grating Distributed Bragg Reflector) 레이저 다이오드의 파장변환기로서 특성을 분석하고 광통신 네트워크 모델링을 위한 CAD 도구로서 개선된 시영역 대신호 동적모델(Time-Domain Large-Signal Dynamic Model)의 유용성을 제시하였다. 이 모델을 이용하여 이런 구조의 파장변환 소자는 10Gbps 이상 고속데이터를 처리할 수 있고 광대역 파장변환이 가능하다는 것을 확인하였다. 입력 광신호의 세기와 주입되는 전류가 파장변환된 신호의 소광비 등에 미치는 영향 및 Eye Diagram 등을 살펴 보았으며, 기존에 발표된 실험결과들과 매우 유사한 경향을 보임을 관측하였다.

Abstract

Among various wavelength conversion technologies, that using the cross-gain modulation in laser diode makes it possible to deal with the high speed signal quite simply and efficiently. In this paper, presented was the applicability of an improved time-domain large-signal dynamic model as a CAD tool to analyze the characteristics of SSGDBR(Superstructure Grating Distributed Bragg Reflector) laser diodes used for wavelength converters. Using this model, it was shown that this kind of wavelength converter can provide the widely tunable wavelength conversion of the high speed data above 10 Gbps. We also investigated the effect of input optical power and the bias current on the characteristics of the device such as extinction ratio and eye diagram. The modeling results show very similar trend to the experimental reports.

I. 서론

정보화 사회로 발전해 나갈수록 멀티미디어 정보에 대한 요구는 점점 늘어나고 있는 추세이다. 멀티미디어 정보는 영상신호와 음성신호를 같이 처리하기 때문에 채널의 대역폭의 증가를 수반하게 된다. 이러한 채널

의 대역폭의 증가를 해결하는 방법 중 하나가 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 광통신 네트워크이다. WDM 광통신 시스템을 구현하기 위해 파장가변 반도체 레이저 다이오드와 수동필터등의 파장에 따른 정보를 처리하는 여러 가지 종류의 소자가 필요하다. 그 중 파장변환 소자(Wavelength conversion device)는 제한된 파장 채널의 수를 극복하고 대용량의 유연한 광 네트워크를 구성하는데 있어서 핵심적인 소자이다. 이러한 파장변환 소자를 구현하는 기술로는 SOA(Semiconductor Optical Amplifier)

* 正會員, 光云大學校 電子工學部/電子通信工學科
(Dept. of Elec. Comm Eng., School of Electronics Eng. Kwangwoon University)

接受日字:1998年11月30日, 수정완료일:1999年1月13日

를 이용한 파장변환 기술^[1]과 포화 흡수층(Saturable absorber)을 가지는 다전극 DFB(Distributed FeedBack) 레이저 다이오드나 DBR(Distributed Bragg Reflector) 레이저 다이오드를 이용한 파장변환 기술^{[2] [3] [4]}, 단일모드 레이저 다이오드의 레이징 상태에서 교차 이득 변조(Cross-Gain Modulation) 파장변환기술^{[7] [8] [9]} 및 MZI(Mach-Zender Interferometer)를 이용한 파장변환 기술^{[5] [16]} 등이 있다.

SOA를 이용한 파장변환 기술로는 FWM(four-wave mixing), XGM(cross-gain modulation), XPM(cross-phase modulation) 등이 있다. 이 중 FWM은 고속으로 동작한다는 장점이 있지만 변환 효율이 나쁘고, 파장 변환된 파장에 따라서 변환 효율의 의존도가 크다는 단점이 있다^[1]. 그리고 XGM, XPM은 고속의 파장변환이 가능하고 변환효율은 높지만 소자자체로 파장가변을 할 수 없다는 단점을 가지고 있다^{[5] [6]}.

다른 방법으로는 다전극 DFB(Distributed Feed-Back) 레이저 다이오드나 DBR(Distributed Bragg Reflector) 레이저 다이오드와 같이 단일 모드 레이저 다이오드에 포화흡수(saturable absorber)층 영역을 두어서 파장 변환 할 수 있다. 포화 흡수영역은 optical gate 역할을 하여 입력신호가 인가될 경우에만 레이저 다이오드에서 발전되는 광 신호를 통과시켜서 입력 파장대의 광 신호에 따라서 레이저 다이오드에서 발전하는 파장대로 신호가 실리게 하여서 파장변환이 이루어지도록 한다. 이러한 소자의 반응속도는 포화흡수 영역의 반응속도에 제약을 받아서 수 Gbps의 신호 밖에 처리를 할 수 없다^{[2] [3]}.

파장가변 단일 모드 레이저 다이오드의 레이징 상태에서의 파장변환 기술은 XGM을 이용한 기술이다. SOA에서의 방법과 마찬가지로 입력 광 신호에 의해 레이저 다이오드의 이득이 변화하여 입력신호와 반전되어서 나타나게 된다. 이러한 파장변환 방법은 간단한 구조로 광대역 파장변환이 가능하고 고속의 신호를 처리할 수 있는 등 여러 가지 장점을 가지고 있다. 반면에 편광에 민감하고 높은 입력 파워를 요구하며 이러한 소자로 WDM망을 구현하는 경우 광 필터가 필요하다^{[7] [8] [9]}.

본 논문에서는 SSG DBR(Super Structure Grating Distributed Bragg Reflector) 레이저 다이오드

의 레이징 상태에서의 여러 가지 파장변환 특성을 해석하는 방법에 대하여 논의하였다. 이러한 방법의 파장변환은 비교적 간단한 구조로 고속으로 동작하고 높은 소광비와 파장변환 효율을 가지며 파장변환된 신호의 광대역 파장가변이 가능하다는 장점을 가진다. 한편 파장변환된 신호가 반전되고 편광에 대해 민감하며 시스템 구성시 부수적으로 필터가 필요하다는 단점을 가진다. 파장변환 모델링 방법으로는 개선된 시영역 대신호 모델(Improved Time-Domain Large-Signal Model)을 사용하였고 시뮬레이션 결과 입력 광신호의 크기와 주입되는 전류에 따른 소광비 및 Eye Pattern등의 특성이 실험결과와 상당히 유사함을 확인할 수 있었다^{[8] [9] [10]}.

II. 모델링 방법

광도파로 내부의 양의 z 방향 및 음의 z 방향으로 진행되는 파의 진폭 $F(t, z)$ 와 $R(t, z)$ 는 각각 다음과 같이 시간변수가 있는 결합 파동방정식을 만족한다.

$$\frac{1}{c_g} \frac{\partial F(t, z)}{\partial t} + \frac{\partial F(t, z)}{\partial z} = (g - j\delta_b - \alpha_o/2 - \alpha_e/2) F(t, z) + jxR(t, z) + s_f + jxR(t, z) + s_r \quad (1)$$

$$\frac{1}{c_g} \frac{\partial R(t, z)}{\partial t} - \frac{\partial R(t, z)}{\partial z} = (g - j\delta_b - \alpha_o/2 - \alpha_e/2) R(t, z) + jxF(t, z) + s_f \quad (2)$$

위 식에서 g 는 전계 이득, α_o 와 α_e 는 전력흡수계수, δ_b 는 detuning factor, κ 는 결합계수를 나타낸다. 그리고 s_f 와 s_r 은 자발 방출 잡음(spontaneous emission noise)를 나타낸다. 자발방출 잡음은 Gaussian 분포를 가지며 다음의 상관관계를 가진다고 가정한다.

$$\langle s(z, t) s^*(z', t') \rangle = \beta R_{sp} \delta(t - t') \delta(z - z') / c_g$$

$$\langle s(z, t) s(z', t') \rangle = 0 \quad (3)$$

여기서 R_{sp} 는 단위 길이당 전자-정공 재결합 비율을 나타내는 파라미터이다. 캐리어 밀도의 변화는 식 (4)와 같이 율 방정식에 의해 계산되며, 율방정식에 의한 캐리어 밀도의 동적 변화에 따른 유효 굴절율 변화는 식 (5)와 같이 주어진다.

$$\frac{dN}{dt} = \frac{J}{ed} - BN^2 - CN^3 - \frac{c_g g_N(N - N_0)P}{1 + \epsilon P} \quad (4)$$

$$n_{eff}(z, t) = n_{eff0} - \frac{\lambda}{4\pi} \Gamma a_m g_N \Delta N(z, t) \quad (5)$$

여기서 J는 전류 주입 밀도 [A/cm²], e는 전자의 전하량, d는 활성층 두께, C는 Auger 캐리어 재결합 계수, B는 자발 재결합 계수, n_{eff0}는 캐리어 밀도가 N=N₀, 즉 Transparent Carrier Density 일때의 유효 굴절율이고 a_m은 선폭 증가인자(Linewidth Enhancement Factor)이다. 식(1) 및 (2)를 유한 차수 근사 방법을 통해 임의의 시간 t와 위치 z에서 전계값과 다음 시간(t+Δt)과 다음 위치(z+Δz)에서의 전계값과의 관계를 아래와 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$F(t + \Delta t, z) = [\Delta z(g - a)]F(t, z - \Delta z) + e^{i\Delta z} F(t, z - \Delta z) + jx\Delta z R(t, z) + \Delta z s, \quad (6)$$

$$R(t + \Delta t, z) = [\Delta z(g - a)]R(t, z + \Delta z) + e^{i\Delta z} R(t, z + \Delta z) + jx\Delta z F(t, z) + \Delta z s, \quad (7)$$

위의 알고리즘은 기존의 방법^[11]에서 발생하는 불안정성을 개선한 알고리즘이다^[12]. 레이저 다이오드 왼쪽 단면(Front DBR)에 입사되는 입력 광펄스 열은 다음과 같다.

$$A(z=0, t) = \sqrt{P_0 \sum a_k B(t - k T_b)} \quad (8)$$

P₀는 입력되는 펄스의 최대 파워이고 a_k는 비트열(bit sequence)을 나타내고 T_b는 한 비트당 시간을 나타낸다. 여기서 B(t)는 super-Gaussian pulse로서 다음과 같이 주어진다.

$$B(t) = \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{t}{T_0}\right)^{2m}\right) \quad (9a)$$

$$T_b = 2(2\ln 2)^{\frac{1}{2m}} T_0 \quad (9b)$$

여기서 T₀는 크기가 1/e에서의 반치폭(half-width)이다. 본 논문에서는 상승시간(rise time)과 하강시간(fall time)이 T_b/2 되도록 m = 1.436이라 가정하였다^[13].

임의의 시간과 공간 t, z에서 다음과 시간과 공간의 전계값을 구하는 과정은 순방향인 경우 F(t+Δt, z+Δz)의 값은 F(t, z), R(t, z)의 값을 이용하여서 구하고 역방향인 경우 R(t+Δt, z-Δz)의 값은 순방향과 마찬가지로 F(t, z), R(t, z)의 값을 이용해서 구한다. 양의 방향과 음의 방향으로 진행되는 두 파동은 경계면에서 다음과 같이 각각의 경계조건을 만족한다.

$$F(t, 0) = r_1 R(t, 0) + A(z=0, t) e^{j\omega_i t} \quad (10a)$$

$$R(t, L) = r_2 F(t, L) \quad (10b)$$

여기서 r₁, r₂는 단면에서의 전계의 반사율이고, ω_i는 입력광의 주파수(중심주파수에서의 편이)를 나타낸다. 위의 경계조건에 의해서 레이저 다이오드의 한 단면에 외부에서 입력되는 광신호는 단면에서의 내부 필드 값에 더해진다. 이렇게 더해진 필드 값은 결합 파동방정식에 의해서 각 영역에서의 값들을 변화시킨다.

식 (6), (7)의 알고리즘 및 경계조건 (10)과 캐리어 율방정식을 적용하는 순서는 다음과 같다.

- (i) 처음에는 F와 R의 값을 영이다.
- (ii) 식 (6)을 이용하여 Δt 후에 레이저의 왼쪽 단면(z=0)에서의 값을 제외한 F 값을 계산 하고, 식 (7)으로 오른쪽 단면(z=L)에서의 값을 제외한 R의 값을 계산한다.
- (iii) 다음에는 경계조건 (10)을 적용하여 F(z=0) 및 R(z=L)을 계산한다.
- (iv) 식 (4) 캐리어 율방정식에 의거하여 캐리어의 변화를 구하고 식(5)을 이용하여 굴절율의 변화를 계산한다.

(v) 위의 4 단계를 반복하면 레이저 다이오드 내에서 광 및 캐리어의 동적 변화를 추적할 수 있다.

이와 같은 알고리즘은 매우 간단하지만, 레이저 다이오드에서의 제반 특성을 효율적이고 정확하게 계산할 수 있으며, 소자의 해석 및 설계 뿐만 아니라, 광섬유에서의 전송특성 모델링 도구와 연결하여 광통신 네트워크의 모델링에도 적용할 수 있을 것이다.

III. 파장변환 특성 해석

본 장에서는 앞장에서 설명한 방법을 이용하여서 SSGDBR 레이저 다이오드의 파장변환 특성을 해석하였다. 그림 1에 파장변환 소자로 사용한 SSGDBR 레이저 다이오드 구조와 굴절율의 변화에 따른 발진 파장의 변화를 보였다. Front SSGDBR 과 Rear SSGDBR 영역의 길이는 각각 510 μm와 495 μm이고 활성영역의 길이는 480 μm이다. Front SSGDBR

영역의 chirping 주기는 $51\mu\text{m}$ 이며, 반사 스펙트럼의 피크치 사이의 간격은 6.366nm 이다. Rear SSG DBR 영역의 chirping 주기는 $45\mu\text{m}$ 이고 이에 따라 반사 스펙트럼의 피크치 사이의 간격은 7.215nm 이다. 격자의 공간주파수 변화범위 Δf_0 와 chirping 주기 Z_0 사이의 관계는 $\Delta f_0 Z_0 = 5$ 을 만족하도록 하였다. 즉, 한 chirping 주기내에서 Bragg 파장은 $1.55\mu\text{m}$ 에서 $1.56\mu\text{m}$ 의 범위의 값을 가진다. 모델링에 사용한 다른 파라미터들은 표 1에 보였다.

의 변화로 90nm 에 이르는 파장 가변이 가능하다. 본 논문에서 제시된 컴퓨터 모델을 이용하여 계산한 발진 파장 및 출력 파워의 변화를 그림 1(b)에 Rear DBR의 굴절율변화의 함수로 보였다. 모델링 과정에서 주입전류는 임계전류의 3배로 하였다. Rear DBR의 굴절율 변화에 따라 발진 파장대가 동조됨을 알 수 있다. 한편, 파장 가변에 따른 출력 파워가 일정하지 않은 것은 Bragg 반사단의 반사 스펙트럼의 피크값이 균일하지 않을 뿐만 아니라, 두 DBR의 반사 스펙트럼에서 일치되는 피크 위치와 모드(longitudinal mode) 위치가 어긋나는 경우가 있기 때문이다. 이러한 이유로 발진 파장에 따라 다른 임계전류 값을 가지고 결과적으로 일정한 전류를 주입하는 경우에는 광출력이 동조되는 파장에 따라 변화하게 된다. 그림 1(b)에서 어떤 경우는 Rear reflector의 굴절율변화에 따라 발진 파장이 반사 스펙트럼의 채널간격의 2배로 점프하는 경우도 관측되는 데 이는 앞에 설명한 바에 기인한다. 이와 같은 현상은 실험적으로 잘 알려진 사실이다^[15].

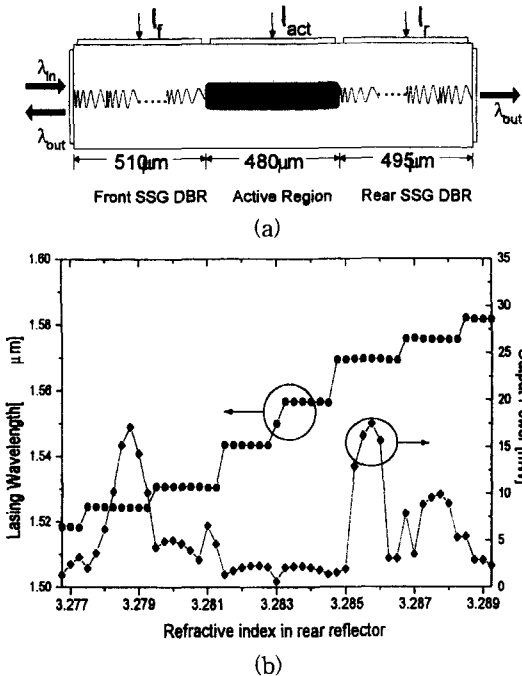


그림 1. (a) SSGDBR 레이저 다이오드 파장 변환소자의 구조와 (b) DBR 영역에서 굴절율 변화에 따른 발진파장의 변화와 출력 파워의 변화(본 논문의 모델을 이용한 시뮬레이션 결과)

Fig. 1. (a) Structure of SSGDBR laser wavelength converter (b) Lasing wavelengths and output power as a function of rear DBR refractive index(Simulation results using the computer model presented in this paper).

Rear SSGDBR 영역의 굴절율의 변화가 없을 시에는 Front와 Rear의 반사 피크치는 $1.55\mu\text{m}$ 에서 일치한다. $1.55\mu\text{m}$ 파장에서의 임계전류는 12.5mA 이다. 피크가 일치되는 파장대에서 이 레이저 다이오드는 발진하게 되고 발진파장은 Rear DBR의 굴절율 변화에 따라 장, 단파장대로 이동하게 된다. 이러한 피크 위치

표 1. 모델링에 사용한 파라미터 값
Table 1. Parameters used in the modeling.

Effective Group Refractive Index (n_g)	3.7
Waveguide Confinement Factor (Γ)	0.02
The Imaginary Part of the Coupling Coefficient (κ)	70cm^{-1}
Spontaneous Recombination Coefficient (B)	$1.0 \times 10^{-10} \text{cm}^3 \text{s}^{-1}$
Auger Recombination Coefficient (C)	$1.3 \times 10^{-28} \text{cm}^6 \text{s}^{-1}$
Transparency Carrier Density (N_0)	$1.25 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$
Linewidth Enhancement factor (a_m)	3.2
Waveguide Loss in the Lasing Section (α_s)	10cm^{-1}
Effective Phase Refractive Index	3.283
Spontaneous Coupling Factor (β)	0.5×10^{-4}
Gain Suppression Coeff in Gain Section (ϵ)	$9.4 \times 10^{-17} \text{cm}^3$
Differential Gain in Gain Section (A_g)	$6.0 \times 10^{-16} \text{cm}^2$
Carrier Lifetime	1 ns

레이저 다이오드가 $1.55\mu\text{m}$ 로 발진하고 있을 때 2ns 동안 $1.56\mu\text{m}$ 의 신호를 인가 시켰을 때의 필터링 전과 후의 출력 파워와, 시간에 따른 스펙트럼 변화를 그림 2에 보였다. 여기서 보인 광출력은 Front DBR의 출력단에서 측정되었다. 바이어스 전류는 임계 전류값($I_{th} = 12.5\text{mA}$)의 4배이고 입력광의 최소 파워

($P_{in(min)}$)는 0.001mW이고 최대 파워는 10mW이다. 주파수 스펙트럼의 분포와 1.55 μm 의 파장대의 필터를 통과한 광 출력의 변화를 보면, 파장 변환된 출력 광신호는 교차 이득포화 현상에 의하여 입력 광신호와 서로 반전된 디지털 데이터로 발생되고 있음을 알 수 있다. 그림 2(b)의 상단에서 보듯이 필터를 거치기 전의 광 출력의 변화는 레이저 다이오드에서 발생하는 광파와 입력 광파가 섞여 있기 때문에 비탕현상이 발생함을 알 수 있고, 필터를 통과하여 1.55 μm 파장만을 걸러냈을 때는 입력 신호에 비하여 반전된 데이터가 발생함을 관측할 수 있다.

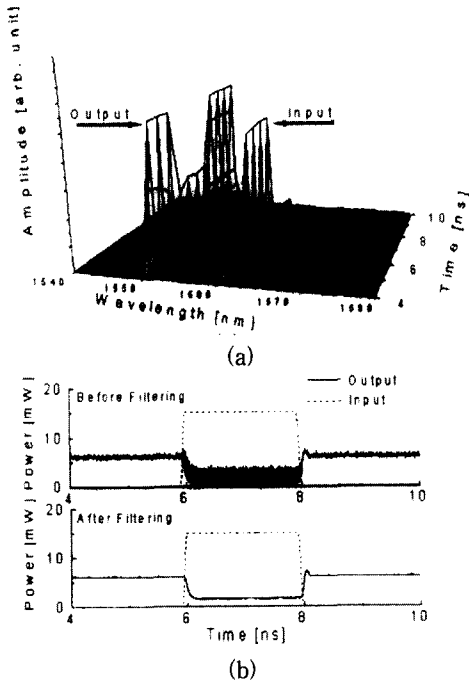


그림 2. (a) 입력 광신호에 의한 시간에 따른 주파수 스펙트럼의 변화 (b) 필터링 전과 후의 광 출력의 변화

Fig. 2. Change of frequency spectrum with time due to input optical signal (b) Output signal before and after filtering.

입력광신호의 파워가 0mW에서 12mW로 변화하는 경우의 소광비를 Rear DBR의 굴절율변화의 함수로 계산하여 결과를 그림 3에 보였다. 레이저 다이오드에 인가되는 전류는 1.55 μm 에서의 임계전류의 3배로 하였다. 파장 변환된 신호의 소광비는 변환되는 파장에 따라 불규칙함을 볼 수 있다. 이러한 불규칙적인 소광비의 변화는 발진파장에서 반사율의 곱이 출력 광파워

의 발진 파장에 따라 변화하고, Rear DBR의 굴절율 변화에 따라 입력 광의 파장에서 반사율 변동으로 인한 것이다. 그림 1과 그림 3을 살펴볼 때 일반적으로 레이저 다이오드의 평균 출력 파워가 크면 소광비가 작고, 출력파워가 작으면 소광비가 커짐을 알 수 있다.

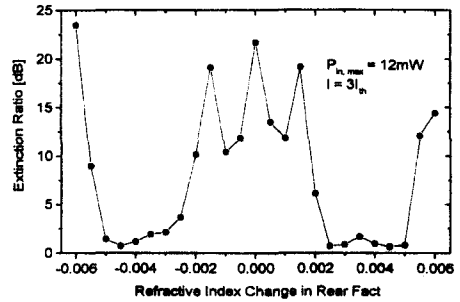


그림 3. 굴절율 변화에 따른 소광비의 변화
Fig. 3. Variation of extinction ratio with refractive index.

입력 광 신호의 파장에 따른 소광비의 변화를 그림 4에 보였다. 출력 광신호의 소광비는 입력 광 신호의 파장에 따라 변화하며, 특정 파장에 대해서는 그 변화가 매우 큼을 볼 수 있다. 이러한 결과는 입력 파장이 DBR의 반사 피크위치에 일치하는 경우 입력파장에서 공진현상에 의하여 입력 광신호의 파워가 증가되는 것과 같은 효과를 발생하기 때문이다. 소광비가 최대 값을 가지는 입력신호의 파장과 SSGDBR 영역에서의 반사스펙트럼의 피크 위치와 일치함을 확인 할 수 있었다. 이러한 입력 파장에 따른 소광비의 경향은 실험적인 결과와 잘 일치한다 [14].

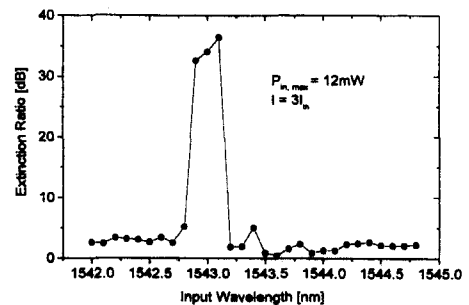


그림 4. 입력 광 신호의 파장의 변화에 따른 소광비의 변화
Fig. 4. Extinction ratio versus input optical signal wavelength.

그림 5에 레이저 다이오드에 주입되는 바이어스 전

류와 입력 광신호의 파위에 따른 소광비의 변화 및 Eye Diagram을 보였다. 주입되는 전류가 작고 입력되는 광파위의 최대값이 클수록 소광비가 개선됨을 볼 수 있다. 소광비의 측정시 입력광신호가 입사될 때와 입사되지 않을 때의 발진파장에서의 광출력을 비교하여 소광비를 계산하였다. 입력광의 최대 파위가 12 mW일 경우에 10dB이상의 소광비를 얻기 위해서는 주입전류는 임계전류의 3.5배 이하로 하여야 함을 알 수 있다. 또한 주입전류를 $3I_{th}$ 로 하는 경우는 입사광의 최대파위가 10 mW 이상이어야 10dB 이상의 소광비를 얻을 수 있다.

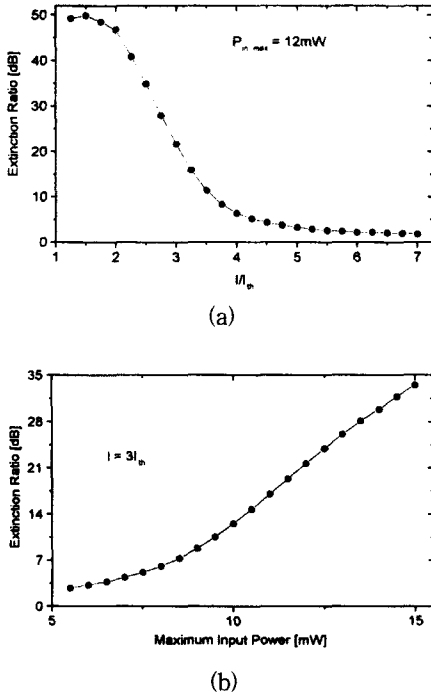


그림 5. (a) 바이어스 전류에 따른 소광비의 변화 (b) 최대 광파위에 따른 소광비의 변화
 Fig. 5. (a) Variation of extinction ratio versus bias current (b) Variation of extinction ratio versus maximum optical power.

입력 파위와 전송속도가 파장 변환된 신호에 미치는 영향을 살펴보았다. $I = 4I_{th}$, $P_{in(max)} = 8mW$ 일 때 전송속도가 6Gbps, 9Gbps, 12 Gbps, 15Gbps일 때의 Eye Diagram을 그림 6에 보였다. 여기서 Eye diagram은 일정한 시간동안의 파장변환된 결과값을 한 비트씩 shift한 후 중첩하여 얻었다. 전송속도가 10 Gbps 이하에서는 소광비가 약 3dB이고 Eye가 크게

열려 있음을 알 수 있다. 또한 $I = 4I_{th}$, $P_{in(max)} = 14mW$ 일 때 여러 전송속도에서의 Eye Diagram을 그림 7에 보였다. 전송속도가 10 Gbps 이하일 때, 소광비가 약 6 - 7dB를 유지하고, Eye Opening이 매우 큼을 알 수 있다. 그림 6 및 그림 7을 보면 전송속도가 6 Gbps인 경우에 비하여 15 Gbps일 때 약 3dB 정도의 Eye 페널티가 발생한다. 또한 $I = 3I_{th}$, $P_{in(max)} = 8mW$ 일 때 여러 전송속도에서의 Eye Diagram 특성 모델링 결과를 그림 8에 보였다. 전송속도가 6Gbps일 때는 약 7dB의 소광비를 보이며, Eye가 크게 열려 있음을 알 수 있다. 15Gbps 인 경우는 6Gbps에 비하여 약 7dB 정도 아이 페널티가 발생하게 된다. 그림 9는 각 조건에 따른 아이 페널티 값을 정리해 보인 그림이다. 그림 9에서 보는바와 같이 $I = 6I_{th}$, $P_{in(max)} = 8mW$ 인 조건에서는 bit rate가 15Gbps에 이르더라도 아이 페널티가 0.5dB정도로 매우 작다. 반면에 그림 5(a)을 보면 소광비가 2dB 이내로 매우 작게 되어 전송시스템에서 소광비 페널티를 유발할 가능성이 있다. 즉 고속 동작에 따른 아이 페널티와 소광비 사이에는 trade-off 관계가 존재하며, 최적의 bias 전류 및 광파위를 세심하게 결정하여야 한다.

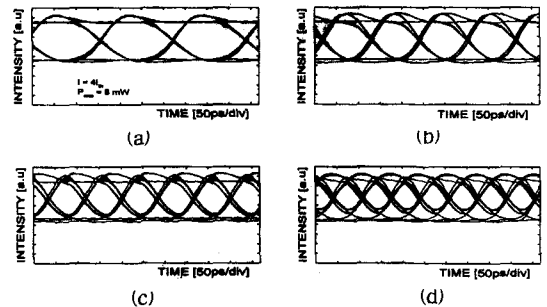


그림 6. 주입전류가 $4I_{th}$, 최대 입력광 파위가 8 mW인 경우 (a) 전송속도가 6Gbps (b) 9Gbps (c) 12Gbps (d) 15 Gbps일 때의 Eye Diagram
 Fig. 6. Eye diagrams for (a) 6Gbps, (b) 9Gbps, (c) 12Gbps, and (d) 15 Gbps when the bias current is $4I_{th}$ and the maximum optical power is 8mW.

파장 변환된 광신호의 주파수 천이를 그림 10에 보였다. 주파수 천이는 식 (11)의 수식으로 구해진다.

$$\omega(t) = \frac{d\phi_{out}}{dt} = \text{Im}[\ln(E_{out})] \quad (11)$$

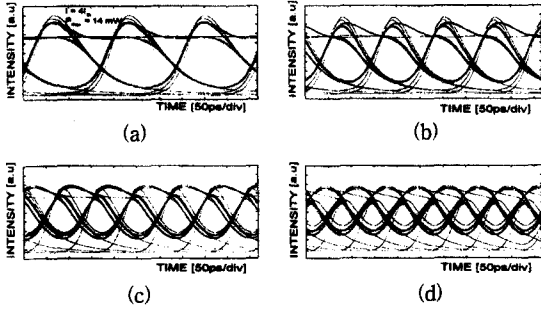


그림 7. 주입전류가 $4I_{th}$ 최대 입력광 파워가 14 mW 인 경우 (a) 전송속도가 6Gbps (b) 9Gbps (c) 12Gbps (d) 15 Gbps일 때의 Eye Diagram
 Fig. 7. Eye diagrams for (a) 6Gbps, (b) 9Gbps, (c) 12Gbps, and (d) 15 Gbps when the bias current is $4I_{th}$ and the maximum optical power is 14mW.

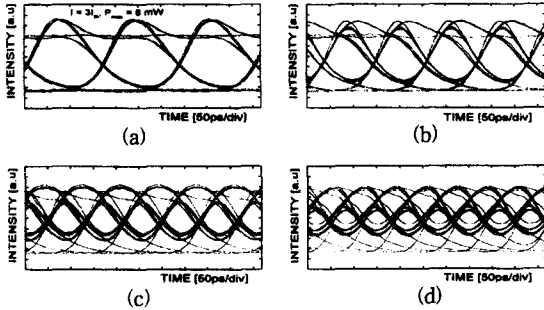


그림 8. 주입전류가 $3I_{th}$ 최대 입력광 파워가 8 mW인 경우 (a) 전송속도가 6Gbps (b) 9Gbps (c) 12Gbps (d) 15 Gbps일 때의 Eye Diagram
 Fig. 8. Eye diagrams for (a) 6Gbps, (b) 9Gbps, (c) 12Gbps, and (d) 15 Gbps when the bias current is $3I_{th}$ and the maximum optical power is 8mW.

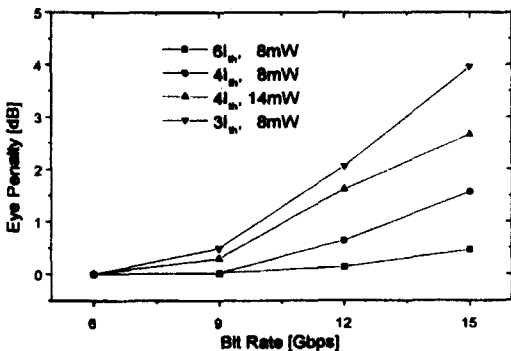


그림 9. Bit rate 변화에 따른 eye penalty
 Fig. 9. Eye penalty versus bit rate change.

여기서 E_{out} 과 ϕ_{out} 은 레이저 다이오드에서 출력

되는 복소전계와 위상출력을 나타낸다. 주파수 천이는 $-7.5 \sim 2.5$ GHz 정도로 발생함을 볼 수 있다. 주파수 천이와 광출력의 변화를 통해서 α -parameter를 계산하면 모델의 사용한 값(3.2)과 같음을 확인할 수 있다.

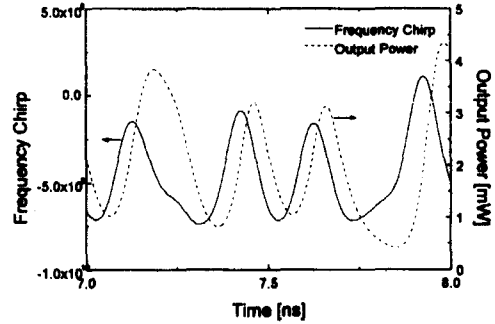


그림 10. 입력신호에 따른 주파수 천이
 Fig. 10. Frequency chirp according to input optical signal.

IV. 결론

본 논문에서는 개선된 시영역 대신 호 모델을 이용하여 SSGDBR 레이저 다이오드의 파장변환 특성을 해석하였다. 이러한 구조를 파장변환 소자로 이용할 경우 간단한 구조로 60nm이상의 동조가능한 파장변환이 가능하다는 실험 결과들을 잘 모델링할 수 있음을 보였다. 입력 광 파워와 주입되는 전류 및 전송속도에 따른 Eye Diagram의 변화를 조사하였다. 출력 광 파워의 소광비는 입력신호의 최대파워가 크고 소자에 주입되는 전류가 작을수록 일반적으로 커짐을 알 수 있었다. 입력 신호에 의한 주파수 천이는 $-7.5 \sim 2.5$ GHz 정도 발생함을 보였고, 이는 본 모델링에서 가정한 Henry의 α -parameter에 잘 대응됨을 확인하였다. 이와 같은 모델링 결과들은 이미 보고된 실험결과들과 비슷한 경향을 보이며, 본 모델링의 정확성 및 효용성을 예시하고 있다. 또한 본 모델링 도구는 광섬유에서의 전송 모델링 도구와 결합하여 WDM 광네트워드의 모델링 도구의 일부로서도 기능할 수 있을 것이다.

감사의 글

* 본 연구는 과학기술부 미래원천 연구비 및 광운대

학교 교내 연구비 지원에 의한 결과임.

참 고 문 헌

- [1] Jianhui Zhou, Namkyoo Park, et al, "Efficiency of Broadband Four-Wave Mixing Wavelength Conversion Using Semiconductor Traveling-Wave Amplifier," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 6. no. 1, pp 50-52, 1994.
- [2] W. Idler, K. Daub, G. Laube, M. Schilling, P. Wiedemann, K. Dutting, M. Klenk, E. Lach, and K. Wunstel, "10Gb/s Wavelength Conversion with Integrated Multiquantum Well Based 3-Port Mach-Zehnder Interferometer", IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 8, pp. 1163-1165, 1996.
- [3] Kentaro Kondo, Masaaki Kuno, Shigenobu Yamakoshi, "A Tunable Wavelength-Conversion Laser", IEEE J. Quantum Electron., vol. 28, no. 5, pp 1343-1348, 1992.
- [4] Hiroyuki Nobuhara, Kentaro Kondo, Shigenobu Yamakoshi, "Optical Logic Function Using a Tunable Wavelength Conversion Laser Diode," IEEE J. Quantum Electron, vol. 28, no. 7, pp. 1722-1726.
- [5] T. Durhuus, B. Mikkelsen, C. Joergensen, S. L. Danielsen, and K. E. Stubkjaer, "All-Optical Wavelength Conversion by Semiconductor Optical Amplifiers," IEEE J. of Lightwave Technol., vol. 14, no. 6, pp. 942-954, June, 1996.
- [6] W. Idler, J. Daub, G. Laube, M. Schilling, K. Dutting, M. Klenk, E. Lach, and K. Wunstel, "10 Gb/s Wavelength Conversion with Integrated Multiquantum-Well-Based 3-PortMach-Zehnder Interferometer," IEEE Photon. Technol. Lett., pp. 1163-1165, 1996.
- [7] Hitoshi Kawaguchi, Katsuaki Magari, et al, "Tunable Optical-Wavelength Conversion Using an Optically Triggerable Multielectrode Distributed Feedback Laser Diode", IEEE J. Quantum Electron, vol. 24, no. 11, pp. 2153-2159, 1988.
- [8] Kiyoto Takahata, Kazuo Kasaya, Hiroshi Yasaka, "A Unidirectional Output Optical Frequency Conversion Device with an Asymmetric- κ DBR Structure," IEEE J. Quantum Electron, vol. 30, no. 5, pp 1219-1226, 1994.
- [9] Hiroshi yasaka, Hiroyuki Ishii, Kiyoto Takahata, Kunishige Oe, Yuzo Yoshikuni, Haruhiko, "Broad-Range Tunable Wavelength Conversion of High-Bit-Rate Signals Using Structure Grating Distributed Bragg Reflector Laser," IEEE J. Quantum Electron., vol. 32, no. 6, pp. 463-469, 1996.
- [10] Hiroshi yasaka, Hiroaki Sanjoh, Yuzo Yoshikuni, Kunishige Oe, "Finely Tunable Wavelength Conversion of High Bit-Rate Signals by Using a Superstructure-Grating Distributed Bragg Reflector Laser," IEEE J. Light Tech, vol. 15, no. 2, pp. 334-341, 1997.
- [11] L. M. Zhang and J. E. Carroll, "Semiconductor 1.55 μ m Laser Source with Gigabit/Second Integrated Electroabsorptive Modulator," IEEE J. Quantum Electron., vol. 30, no 11, pp. 2537-2577, 1994.
- [12] Byong-Sung Kim, Jae-Kyun Kim, Youngchul Chung, and S. H. Kim, "Time-Domain Large-Signal Analysis of Widely Tunable DBR Laser Diodes with Periodically Sampled and Chirped Gratings," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 10, no. 1, 39-41, 1998.
- [13] Akira Naka, Shigeru Saito "In-Line Amplifier Transmission Distance Determined by Self-Phase Modulation and Group-Velocity Dispersion," Journal of lightwave technology., vol. 12, no. 2, pp. 280-287, 1994.
- [14] Hiroaki sanjoh, Hiroyuki ishii, Hiroshi yasaka, Kunishige Oe, "Wavelength Insensitive Tunable Wavelength Conversion Using Cascaded Semiconductor Lasers," IEICE Tran Electron., vol. E81-C, no. 8, 1258-1263, 1998.

[15] Ishii, H., Tohmori, Y., Tamamura, T., and Kondo, Y., "Multiple-phase-shift super structure grating DBR lasers for broad

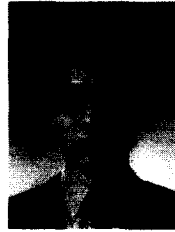
wavelength tuning", IEEE Photon. Tech. Lett., vol. 5, no. 6, 613-615, June 1993.

저 자 소 개



鄭 榮 哲(正會員)

1981년 서울대학교 전자공학과(공학사), 1983년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사), 1992년 Electrical and Computer Engineering (박사), University of California, Santa Barbara(UCSB). 1981년 ~ 1986년 금성전선 기술연구소 1987년 ~ 1988년 한국과학기술연구원(KIST). 1992년 ~ 1993년 Optoelectronics Technology Center(UCSB) 연구원. 1993년 ~ 현재 광운대학교 전자공학부/전자통신공학과 부교수. 관심분야는 광통신용 소자 및 광통신 시스템



金 秀 炫(正會員)

1993년 ~ 1997년 광운대학교 전자통신공학과(공학사) 1997년 ~ 1999년 광운대학교 전자통신공학과(공학석사). 관심분야는 광소자 설계 및 광통신 시스템