

論文98-35D-5-13

# 전송 모의실험을 통한 전계흡수 광변조기의 파장왜곡 특성해석

## (Chirping Characteristics Analysis of Electroabsorption Modulators by Fiber Transmission Simulations)

韓 燮\*, 金敬鉉\*, 韓相國\*

(Sub Han, Kyung-Hyun Kim, and Sang-Kook Han)

### 요 약

InGaAsP 전계흡수 광변조기의 파장왜곡 특성을 해석하였다. 대신호시 유효적인  $\alpha$  파라메타는 광섬유 전송 후 펄스모양을 여러 가지 상수 chirping을 가정하여 전송한 펄스와 비교하여 예측하였고 흡수층의 파장 detuning과 바이어스 전압을 변화시켜가면서  $\alpha$  파라메타의 변화를 관찰함으로써 파장왜곡을 개선하기 위한 동작조건을 알아보았다. 파장왜곡을 최소화하기 위해서는 파장 detuning을 줄이고 바이어스 전압을 증가시키는 것이 유리하며 특히 모의실험결과 30meV 이하의 파장 detuning에서 동작전압을 적절히 조절하여 음수 chirping값을 얻음으로써 펄스의 압축 효과를 기대할 수 있다.

### Abstract

The chirping characteristics of InGaAsP electroabsorption modulators have been analyzed. The effective  $\alpha$  parameters for large signal modulation were estimated by comparing the pulse shape after fiber transmission with constant chirping assumption. We investigated the structure and the operating condition of the modulator to improve the chirping characteristics. The  $\alpha$  parameters were calculated as the function of wavelength detuning and the bias voltage. To minimize the chirping performance, high bias voltage and a small wavelength detuning were preferred. An negative  $\alpha$  value is achieved at the wavelength detuning below 30meV with a proper bias voltage so that pulse compression effect was expected

### I. 서 론

EDFA(Erbium Doped Fiber Amplifier)를 사용하는 수 Gbit/sec이상의 광통신이 보편화되면서, 광전력의 감쇄보다는 분산으로 인한 신호의 왜곡이 중요한 문제로 다루어지고 있다. 따라서 최소의 분산을 갖는

전송을 통해 최대 무중계 거리를 확보하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있는데 SPM 효과를 이용하거나 분산천이섬유를 이용하는 방법 등이 있다<sup>[1]</sup>. 또한 외부 변조기의 음수 chirping(negative chirping)을 이용하여 전송 중에 생기는 분산을 미리 보상하는 방법이 효과적이다. 외부 변조기중 전계흡수 광변조기(electroabsorption modulator)는 제작이 간편하면서 작은 구동전력에서 높은 소광비 성능을 나타내고 높은 주파수 응답특성을 제공하므로 초고속 광변조에 적절하다. 또한 III-V족 화합물 반도체를 사용하여 반도체 레이저나 다른 광소자들과 단일기판집적(monolithic integration)이 가능하고 크기를 상대적으로 작게 할 수 있는 유리한 점이 있다.

\* 正會員, 延世大學教 電波工學科

(Dept. of Radio Communications Engineering, Yonsei University)

※ 본 연구는 97년도 교육부 반도체분야 학술연구 조성비(ISRC 97-E-3208)에 의하여 연구 되었습.

接受日字:1998年2月19日, 수정완료일:1998年4月8日

파장왜곡을 나타내는  $\alpha$  파라메타는 광전송 시스템에서 분산에 의해 제한되는 최대 무중계 전송거리를 결정하게 되므로 전계흡수 광변조기의 동작성능을 평가하는 중요한 요소가 된다. 상수 chirping을 가정한  $\alpha$  파라메타들은 chirping이 시간에 무관한 상수라 가정하고 있기 때문에 순시적으로 변하는 펄스의 모양과 관련하여 실제 전송성능을 표현하는데 어려움이 있다<sup>[2]</sup>. 실제로  $\alpha$  파라메타는 변조기의 바이어스 전압에 따라 시간의 함수가 되기 때문이다. 한편, 변조기의 파장왜곡 특성은 일반적으로 하나의 값으로 나타내어 지므로 시간에 따라 변화하는  $\alpha$  파라메타를 하나의 유효적인 값으로 대표하여 표현할 필요가 있다.

본 논문에서는 InGaAsP 벌크물질을 흡수층으로 사용한 전계흡수 광변조기의 파장왜곡 특성을 전송 모의 실험을 통해 해석하였다. Chirping 값을 나타내는  $\alpha$  파라메타는 transient chirping으로 펄스를 전송한 후 여러 가지 상수 chirping으로 전송된 펄스모양과 비교하여 유효한 chirping 값을 결정하였다. 변조기의 동작 파장을  $1.55\mu\text{m}$ 로 하여 chirping값에 영향을 주게되는 흡수층과 동작파장간의 파장 detuning과 바이어스 전압을 변화시켜 가며  $\alpha$  파라메타의 변화를 관찰하고 파장왜곡 성능을 개선할 수 있는 동작조건을 알아보았다.

II. 전계흡수 광변조기에서의 파장왜곡

$\alpha$  파라메타는 변조기 구조에 무관하므로<sup>[2]</sup> 본 논문에서는 10Gbit/s의 동작속도와 10dB/V의 소광효율을 만족할 수 있도록 설계된 전계흡수 광변조기에서 흡수층 물질의 밴드갭 파장과 바이어스 전압을 변화시켜 가며 파장왜곡 특성을 모의 실험하였다. deep ridge형태의 전계흡수 광변조기 구조는 그림 1과 같다. 흡수층은 벌크 InGaAsP를 사용하고 동작속도와 소광효율을 고려하여 변조기 길이  $L$ 은  $200\mu\text{m}$ , 흡수층 두께  $d$ 와 폭은 각각  $0.25\mu\text{m}$ ,  $3\mu\text{m}$ 로 하였으며 기타 자세한 광도파로 특성은 참고문헌 [3]을 참조한다. 이때 역바이어스 전압  $V$ 에 의해 공핍된 흡수층에 걸리게 되는 평균전계  $F$ 는  $V/a$ 가 되고 이에 의한 흡수계수는 Seraphin의 식으로부터 유도된 식 (1)의 해석적 표현으로 주어진다<sup>[4]</sup>.

$$\alpha_L(\omega, F) = \frac{C}{\omega_n} F^{1/3} \sum_j \left(\frac{2\mu_j}{m}\right)^{4/3} \times \left[ \left| \left( \frac{dA_i(z)}{dz} \right)_\beta \right|^2 - \beta_j |A_i(\beta)| \right] \quad (1)$$

여기서  $\beta_j = 1.1 \times 10^5 (E_g - \hbar\omega) (2\mu_j/m)^{1/3} F^{2/3}$ ,  $\mu_j$ 는 reduced effective mass,  $j$ 는 light-hole 그리고 heavy-hole valance 밴드에 해당한다.  $C$ 는 여러 가지 물질변수들과 주요 물질상수들의 값을 포함한 값으로 matrix element의 불명확성에 의해 정확한 값을 구할 수 없고, 다만 측정된 값과의 일치율을 위해 자유변수(free parameter)로 놓는다<sup>[5]</sup>. 본 논문에서는 Yamada가 보고한 광변조기<sup>[6]</sup>에서의 소광비로부터 구조와 바이어스를 고려하여 흡수계수 값을 계산하여서  $C$ 값을 구하였는데 그 값은  $5.7539 \times 10^{18}$ 이다.

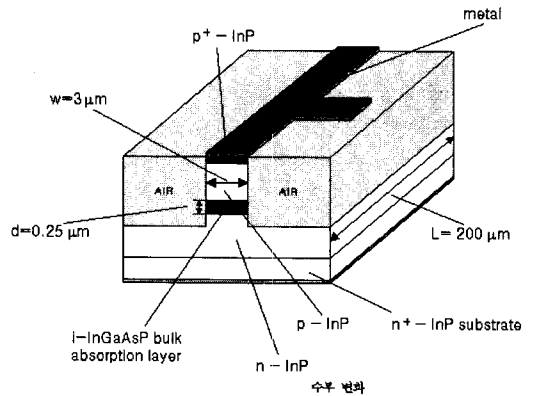


그림 1. 전계흡수 광변조기의 구조  
Fig. 1. Schematic of an electroabsorption modulator.

광크기 변조를 위해 변화된 흡수계수  $\alpha_L$ 은 굴절률의 허수부에 해당하므로 Kramers-Kronig관계를 이용하면 굴절률의 실수부 변화를 구할 수 있다. Kramers-Kronig관계는 식 (2)와 같이 정의된다<sup>[5]</sup>.

$$\Delta n'(\omega, F) = \frac{c}{\pi} \int_0^\infty \frac{\Delta \alpha_L(\omega', F)}{\omega'^2 - \omega^2} d\omega' \quad (2)$$

여기서  $c$ 는 빛의 속도이고  $w$ 는 흡수층의 밴드갭 에너지에 해당하는 주파수이다. 흡수계수  $\alpha$ 와 굴절률의 허수부  $n''$ 의 관계는  $\alpha = 2wn''/c$ 가 된다. 파장 detuning을  $E_g - \hbar\omega$ 라 정의했을 때, 흡수층의 두께가  $0.25\mu\text{m}$ 이고, 파장 detuning이 30meV인 경우 식 (1)과 식 (2)에 의해 바이어스 변화에 따른 굴절률의 실수부와 허수부의 변화를 그림 2에 보였다.

파장왜곡으로 인한 광신호 파형의 찌그러짐의 원인은 기생 광위상 변화에 있다. 굴절률의 변화에 변조기 길이를 고려하면 광크기와 위상의 변화를 구할 수 있다. 변조기로 입사하는 전계  $E_0$ 가 평면파라 가정한다

면 소자길이  $L$ 의 변조기 출력단에서 전계의 크기  $|E_o|$ 는 식 (3)과 같다.

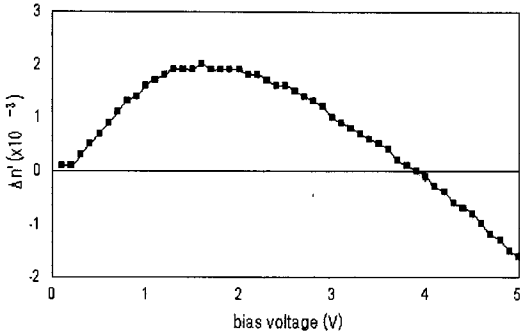
$$\frac{d\phi}{dt} = -\frac{\alpha_p}{2} \frac{1}{S} \frac{dS}{dt} \quad (5)$$

$$\alpha_p = \frac{dn'}{dt} / \frac{dn''}{dt} \quad (6)$$

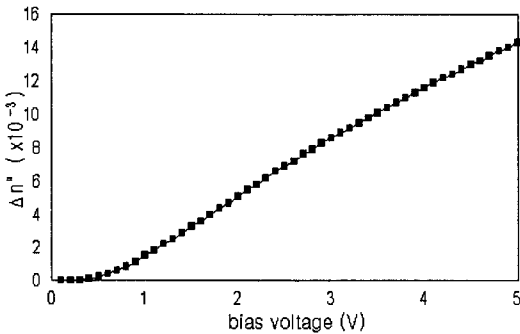
식 (5)에서 위상변화는 크기의 시간적 변화에 기인함을 알 수 있다. 위상변화의 미분값은 순시적인 파장 천이에 해당하고 파장 천이에 의한 선폭의 벌어짐은 파형의 찌그러짐(waveform distortion)을 일으키는 요인이 된다. 크기변화에 대한 위상변화의 정도를 식 (6)과 같이  $\alpha_p$ 로 나타낼 수 있다. 따라서  $\alpha_p$ 는 파장 왜곡의 크기를 나타내는 값이다. 식 (5)를 적분하여  $\alpha_p$ 를 위상변화와 크기변화에 대해 식 (7)과 같이 직접 나타낼 수 있다.

$$\alpha_p = 2 \frac{d\phi}{d \ln S} \quad (7)$$

입력 광전계  $E_i$ 를 1이라 하면  $\ln S$ 는 입출력 광신호의 비가 되며 투과율(transmission)이라 정의한다. 식 (4)와 식 (7)을 이용하여 주어진 길이와 전압에 대한 변화를 통하여 투과율과 위상의 변화를 구할 수 있다. 그림 3에 변조기 길이 200  $\mu\text{m}$ , 파장 detuning이 15meV와 30meV 및 40meV인 경우에 대하여 각각 투과율과 위상 변화를 보였다. 식 (7)에서 보면 이 곡선의 기울기가  $\alpha_p$ 가 됨을 알 수 있다. 곡선의 기울기는 전압변화에 민감하게 영향을 받게 되어 양수에서 음수로 변화하게 되고 이에 따라  $\alpha_p$ 도 변하게 된다. 또한 파장 detuning에 따라 각기 다른 변화를 보이는데 이것은 InGaAsP 벌크물질의 흡수계수 스펙트럼의 특성 때문이다.



(a) 실수부 변화



(b) 허수부 변화

그림 2. 파장 detuning이 30meV일 경우 바이어스 전압에 따른 굴절률의 실수부와 허수부의 변화  
Fig. 2. The real and the imaginary part variation of refractive index for several bias voltage with 30meV wavelength detuning.

$$|E_o| = |E_i| \exp(j\Gamma\bar{\beta}L) \quad (3)$$

여기서  $\Gamma$ 는 광구속성(confinement factor)이고, 복소전파상수  $\bar{\beta}$ 는  $k_o n$ 이다. 복소굴절률을 고려하여 식 (3)을 크기와 위상으로 나누어 표현하면 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} |E_o| &= \sqrt{|S|} \exp(j\phi) \\ &= |E_i| \exp(-\Gamma k_o n'' L) \exp(j\Gamma k_o n' L) \end{aligned} \quad (4)$$

전계흡수 광변조기가 동작하면서 흡수계수와 굴절률이 시간에 따라 변조되므로, 빛의 순시적인 크기 (instantaneous intensity)  $S$ 와 위상  $\phi$ 는 시간의 함수가 된다. 크기와 위상을 시간에 대해 미분하여 그들의 관계를 정리하면 식 (5)와 같고 이때  $\alpha$  파라미터는 식(6)과 같이 정의한다<sup>[7]</sup>.

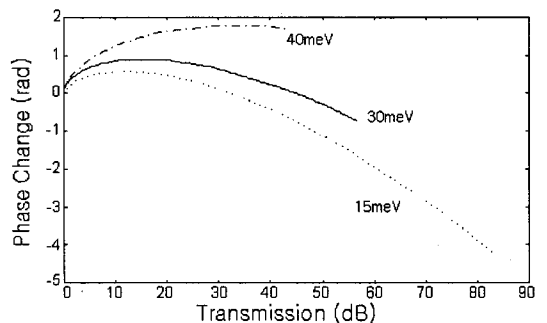


그림 3. 길이 200 $\mu\text{m}$ 의 전계흡수 변조기에서 15meV, 30meV, 40meV의 파장 detuning에 대한 위상 투과율 곡선  
Fig. 3. Phase of output light versus transmission of a 200- $\mu\text{m}$ -long modulator, for several wavelength detuning(15meV, 30meV, 40meV).

III. 전송에 의한  $\alpha$  파라메타 예측

그림 3에서 볼 수 있듯이 위상변화는 전압에 따라 변하게 되어  $\alpha_p$ 는 transient chirping이 된다. 이처럼 하나의 전압점을 기준으로 하여  $\alpha_p$ 를 정의하는 것을 소신호  $\alpha_p$ 라 하는데, 이 경우  $\alpha_p$ 는 시간의 함수가 됨을 알 수 있다. 하지만 일반적으로 전계흡수 광변조기의 파장왜곡 특성은 하나의 유효적인  $\alpha_p$ 값으로 제시되어 진다. 대표적으로 대신호  $\alpha_p$ 를 들 수 있는데, 이 경우 ON상태와 OFF상태를 기준으로 하여 그 사이의 위상변화를 선형적으로 가정하게 되므로 전송 성능을 정확히 예측하지 못하게 된다. 반면 transient chirping을 가진 펄스를 광섬유로 전송한 후 찌그러진 파형을 상수 chirping으로 가정하여 전송한 파형과 비교하여 transient chirping에 유효적인  $\alpha$  파라메타 값을 정하는 것이 전계흡수 광변조기의 전송성능을 예측하는데 가장 적절한 방법으로 소개되었다<sup>[2]</sup>. 본 논문에서도 이러한 전송 chirping(transmission chirping)을 고려하여  $\alpha$  파라메타를 구하고자 한다.

전송 chirping에 의한  $\alpha$  파라메타를 구하기 위해서는 먼저 펄스를 광섬유로 진행시킨 후 펄스모양의 변화를 해석해야 한다. 분산값이  $\beta_2$ 이고 비선형 계수(nonlinearity coefficient)가  $\gamma$ 이며  $\alpha_{fiber}$ 의 손실(loss)을 가진 광섬유에서 z방향으로 진행하는 펄스는 식 (8)의 방정식으로 나타낼 수 있다<sup>[8]</sup>.

$$i \frac{\partial A}{\partial z} = -\frac{i}{2} \alpha_{fiber} A + \frac{1}{2} \beta_2 \frac{\partial^2 A}{\partial T^2} - \gamma |A|^2 A \quad (8)$$

여기서  $A$ 는 전계 펄스파형의 envelope이고,  $T$ 는 정규화된 시간으로  $T = t - z/v_g$  와 같다. 식 (8)에서 분산에 의한 효과만을 고려한다면 손실과 비선형 계수는 무시할 수 있고 식 (8)은 선형 편미분 방정식이 된다. 여기서 전계흡수 광변조기를 통해 나오는 파형  $A$ 는 해석적으로 표현할 수 없으므로 FFT(Fast Fourier Transform)방법을 통해 수치적으로 계산해야 한다<sup>[9]</sup>. 상수 chirping에 의한  $A$ 의 위상은 식 (7)을 적분한 식(9)로 주어진다.

$$\phi = -\frac{1}{2} \alpha_p \ln S \quad (9)$$

한편 전송 chirping에 의해 순시적으로 변화하는 위상값은 그림 3에서 알 수 있다. 이와 같이 transient chirping에 의한 위상을 가진 펄스를 여러

분산값을 가진 광섬유로 전송시켜 상수 chirping을 이용한 전송결과(펄스의 시간영역에서의 모양변화)와 비교하여 가장 비슷한 경우의 상수 chirping값을 전송 chirping값으로 간주한다. 펄스를 비교할 때 펄스폭으로 비교하는 것이 흔히 쓰인다. 가우시안 형태가 아닌 경우 펄스폭은 rms 넓이를 사용하는 것이 일반적이다. rms 넓이의 정의는 식(10)과 같다.

$$\sigma = [\langle T^2 \rangle - \langle T \rangle^2] \quad (10-1)$$

$$\langle T^m \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} T^m |A(z, T)|^2 dT / \int_{-\infty}^{\infty} |A(z, T)|^2 dT \quad (10-2)$$

광섬유의 분산의 정도를 제시할 때 분산값  $\beta_2$ 보다 분산 파라메타(dispersion parameter)  $D$ 를 쓰는 것이 일반적이다. 식 (8)에 쓰인  $\beta_2$ 와  $D$ 의 관계는 식 (11)과 같다.

$$D = -\frac{2\pi c}{\lambda^2} \beta_2 \quad (11)$$

표준 광섬유(standard fiber)의 경우  $D$ 값은 17ps/km/nm가 된다. II절에서 제안된 구조의 전계흡수 광변조기에서 출력된 펄스가 상수 chirping값으로 왜곡되었다고 가정하고 표준 광섬유로 전송한 후의 펄스모양 변화를 그림 4에 보였다.

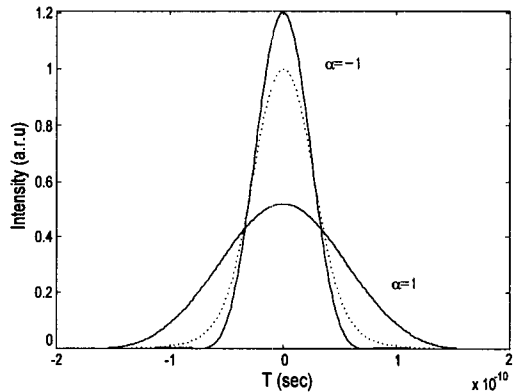


그림 4. 파장 detuning 30meV, 바이어스 전압  $V_B=3V$ ,  $V_{pp}=2V$ 에 대한 가우시안 펄스의 전송 전후의 모양비교 (점선 : 전송전, 실선 : 전송후)

Fig. 4. Broadening of a Gaussian pulse after transmission for wavelength detuning 30meV and bias voltage  $V_B=3V$ ,  $V_{pp}=2V$ . (solid line : after transmission, dotted line : before transmission)

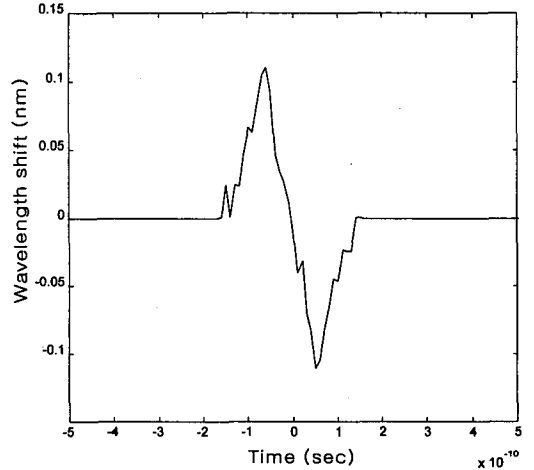
여기서 흡수층의 파장 detuning은 30meV이고 변

조기를 구동하는 바이어스 전압은 가우시안 형태에  $V_B=3V$ ,  $V_{pp}=2V$ 이며 상수 chirping은 각각 -1과 1인 경우에 대해 원래의 펄스모양과 비교하였다. 이때  $V_B=(V_{ON}+V_{OFF})/2$ ,  $V_{PP}=V_{OFF}-V_{ON}$ 로 정의된다.

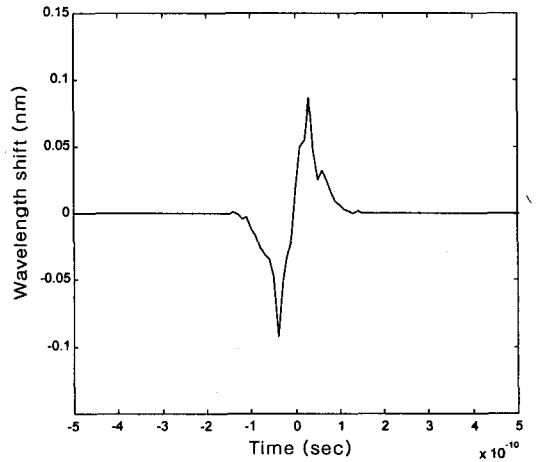
접선이 전송 전의 펄스인테 양수의  $\alpha_p$ 로 왜곡될 경우에는 전송되면서 펄스폭이 늘어나게 되고 음수의 경우에는 원래의 펄스모양보다 압축된다. 이것은 분산으로 인한 파장 천이와 chirping으로 인한 파장 천이의 상관관계에 기인한다. 펄스가 표준 광섬유로 진행하게 되면 분산으로 인해 파장 천이가 일어나는데, 펄스의 선단부(leading edge)는 단파장 천이(blue shift)를 일으키고 후단부(trailing edge)는 장파장 천이(red shift)를 일으키게 된다. 한편 표준 광섬유에서는 높은 주파수 성분은 빠르게 진행하게 되고 낮은 주파수 성분은 느리게 진행하게 되므로 진행한 펄스는 벌어지게 된다. 광원의 chirping값이 양수이면 chirping에 의한 파장 천이가 분산에 의한 파장 천이와 부호가 같게 되어 전체 파장 천이는 커지게 되므로 광섬유를 진행하는 펄스폭이 넓어지게 된다. 그러나 chirping값이 음수가 되면 chirping과 분산으로 인한 파장 천이가 서로 상쇄되어서 거리에 따라 펄스의 압축효과도 기대할 수 있다.

파장 천이와 위상변화는  $\Delta\lambda = (\lambda^2/c)(d\phi/dt)$ 의 관계를 가지게 되므로 펄스모양의 시간적 변화에 따른 위상변화를 조절한다면 음수의 chirping값을 얻을 수 있게된다. 위상변화를 보인 그림 3에서 파장 detuning과 투과율에 따라 위상변화의 기울기, 즉 파장 천이가 달라지게 된다. 한편 투과율은 바이어스 전압에 대해 선형적으로 변화하고 있으므로 chirping값의 부호를 결정하는 것은 파장 detuning과 바이어스 전압이 된다. 파장 detuning이 작아지고 바이어스 전압이 커지면 투과율의 증가에 따라 위상변화가 감소하는 영역이 나타난다. 30meV의 파장 detuning에서 바이어스 전압을  $V_B=3V$ ,  $V_{pp}=2V$ 로 변조하게 되면 투과율이 25dB에서 45dB까지 변화하고 이 영역에서는 위상변화의 기울기가 음수가 된다. 하지만 같은 바이어스 전압에서도 파장 detuning이 40meV의 경우의 위상변화는 그 기울기가 양수가 되어 파장 천이가 분산에 의한 파장 천이에 부가되게 되므로 펄스는 더욱 퍼지게 된다. 그림 5에 제안된 구조의 전계흡수 광변조기에서 출력펄스의 파장천이를 보였다. 바이어스 전압이  $V_B=3V$ ,  $V_{pp}=2V$ 인 경우 파장 detuning을 30meV와

40meV으로 할 때 각각의 파장천이를 보면 30meV일 경우 펄스의 선단부에서 장파장 천이가 나타나고 후단부에서 단파장 천이를 보이므로 음수의 chirping값을 예상할 수 있고, 40meV일 경우는 이와 반대의 경향을 나타내므로 양수의 chirping값을 보일 것이다.



(a)



(b)

그림 5.  $V_B=3V$ ,  $V_{pp}=2V$ 인 경우 변조기 출력단 펄스의 파장 천이 (a) 30meV 파장 detuning (b) 40meV 파장 detuning

Fig. 5. Wavelength shift of output pulse in EA-modulator with  $V_B=3V$ ,  $V_{pp}=2V$  bias voltage. (a) 30meV wavelength detuning (b) 40meV wavelength detuning

파장 천이를 가진 펄스의 chirping값을 예측하기 위해 펄스의 rise time이 40ps인 가우시안 형태의 펄스에 대해 광섬유를 통해 50km를 전송한 후 전송전의 펄스와 전송후의 펄스의 rms 넓이비를 비교하였다.

이때 전송 전후의 펄스의 넓이비를 확장비(broadening factor)라 정의한다. 광섬유의 손실은 없다고 가정하였고, chirping값이 여러 가지 광섬유에서 일반적으로 쓰일 수 있도록 광섬유의 분산 파라메타는 양수값과 음수값을 모두 적용하여 전송하였다. 각각의 분산값에서 transient chirping값으로 전송한 펄스의 확장비와 가장 유사한 확장비를 가진 상수 chirping값이 유효한  $\alpha_p$ 가 된다. 한편 여러 가지 분산 파라메타에서 적합한 상수 chirping값이 없을 경우에는 실제의 표준광섬유가 양수 분산 파라메타를 가지므로 양수값이 주요하다고 가정하였다.

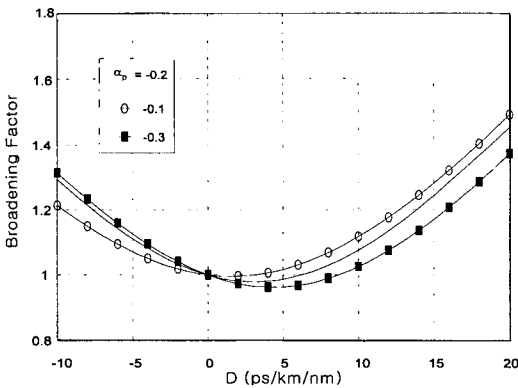


그림 6. 30meV 파장 detuning에서 분산 파라메타에 대한 확장비

Fig. 6. Broadening factor versus dispersion parameter for 30meV wavelength detuning.

그림 6은 파장 detuning이 30meV인 경우에 바이어스 전압을  $V_B=3V$ ,  $V_{pp}=2V$ 로 하여 여러 가지 분산 파라메타에 대한 확장비를 보이고 이에 의해  $\alpha_p$ 를 예측한 결과를 보인 것이다. 30meV의 파장 detuning에서  $V_B=2V$ ,  $V_{pp}=2V$ 인 경우 transient chirping에 의한 펄스의 확장과 가장 근사한 상수 chirping값은 0.15였으며 그림 6에서처럼 바이어스 전압을  $V_B=3V$ ,  $V_{pp}=2V$ 로 하여 구동시키게 되면  $\alpha_p$ 값이 -0.2로 음수가 되었다. 이것은 detuning과 전압에 영향을 받는 파장왜곡 특성을 보여준다. 참고로  $V_B=2V$ ,  $V_{pp}=2V$ 와  $V_B=3V$ ,  $V_{pp}=2V$ 에 대해 파장 detuning이 15meV인 경우 예측한  $\alpha_p$ 값은 약 -0.53에서 -0.55정도로서 모두 음수의 chirping값을 얻었으며 파장 detuning이 40meV일 때 예측한  $\alpha_p$ 값은 각각 0.3에서 0.5정도였다. 그림 7에 세 가지 경우의 파장 detuning에 대해 전송을 통해 예측한 chirping값을 비교하여 나타내었다.

이상에서 살펴본 바와 같이 파장왜곡을 최소화하고 더욱이 음수 chirp를 얻기 위해서는 파장 detuning이 작을수록 유리하고 증가된 동작 바이어스(DC 바이어스)가 요구된다. 물론 파장 detuning이 감소함에 따라 유효 chirping값이 단조 함수적으로 감소하는 것은 아니지만(흡수층에서 인가전압에 따른 Franz-Keldysh 효과의 비선형성에 의해) 모의실험결과 30meV 이하의 파장 detuning에서 음수 chirping의 값을 얻을 수 있었다. 한편 파장 detuning이 줄어들며 따라 광변조기의 흡수손실이 증가하게 되고 동작 바이어스가 증가될 경우 발생하는 구동회로와의 정합등이 문제가 될 수 있다. 따라서 최소의 chirping을 유지하며 동시에 흡수손실과 동작전압을 최소화하는 최적화가 필요하다.

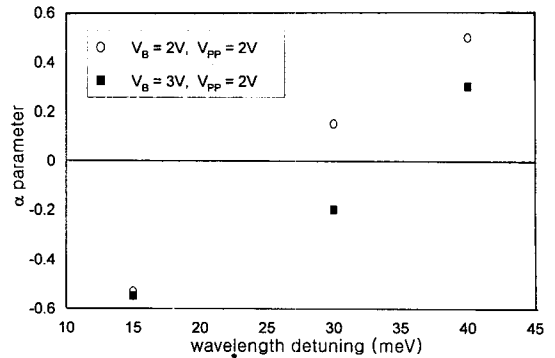


그림 7. 여러 파장 detuning(15meV, 30meV, 40meV)에 대해 유효적으로 예측한  $\alpha_p$  파라메타

Fig. 7. Effective  $\alpha_p$  versus several wavelength detuning(15meV, 30meV, 40meV).

#### IV. 결 론

InGaAsP 벌크물질을 흡수층으로 갖는 전계흡수 광변조기의 파장왜곡 특성을 해석하였다.  $\alpha$  파라메타는 전송 모의실험을 통해 표준 광섬유로 광신호를 전송한 후 transient chirping을 고려하여 펄스모양으로 예측하였다. 파장 detuning을 15meV로 하여 바이어스전압을  $V_B=2V$ ,  $V_{pp}=2V$  및  $V_B=3V$ ,  $V_{pp}=2V$ 로 하여 예측한  $\alpha$  파라메타는 -0.53에서 -0.55정도로서 모두 음수 chirping값을 얻었고 파장 detuning을 30meV로 한 경우 바이어스 전압을  $V_B=3V$ ,  $V_{pp}=2V$ 로 하여 변조시킨 결과 -0.2의 음수 chirping값을 얻게 되었다. 이때 바이어스 전압을  $V_B=2V$ ,  $V_{pp}=2V$ 로 한 경우에는 0.15의 chirping값을 나타내었다. 이는 바이어스 전압이 커지면서 투과율의 증가에 따라 상대적으로

위상변화가 감소하는 것에 기인한다. 한편 파장 de-tuning이 40meV일 경우 처핑값이 0.3에서 0.5정도의 값을 나타내게 되는데 이것은 파장 detuning이 커지면서 투과율 증가에 따라 위상변화가 감소하는 영역이 줄어들어 물질특성 때문이다. 따라서 파장왜곡을 최소화하기 위해서는 파장 detuning을 줄이고 바이어스 전압을 높여야 함을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] C. D. Chen, P. Delavaux, "Field experiment of 10Gbit/s, 360km transmission through embedded standard (non-DSF) fiber cables," *Electron. Lett.*, vol. 30, pp. 1159-1160, 1994.
- [2] F. Dorgeuille, F. Devaux, "On the transmission performances and the chirping parameter of a multi-quantum-well electroabsorption modulator," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. QE-30 pp. 2565-2572, 1994.
- [3] 한 섭, 한상국, "InGaAsP 전계흡수 광변조기 최적설계에 관한 연구," 대한전자공학회 논문지, 제 34권, D편, 11호, pp. 83-89, 1997
- [4] B. O. Seraphin, N. Bottka, "Franz-Keldysh Effect of the Refractive Index in Semiconductor," *Phys. Rev.*, vol. 139, pp. A560-A565, 1965.
- [5] B. R. Bennett, R. A. Soref, "Carrier-Induced Change in Refractive index of InP, GaAs, and InGaAsP," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. QE-26 pp. 113-122, 1990.
- [6] K. Yamada, H. Murai, "Low polarisation dependence (<0.3dB) in an EA modulator using a polyimide-buried high-mesa ridge structure with an InGaAsP bulk absorption layer," *Electron. Lett.*, vol. 31, pp. 237-238, 1995.
- [7] F. Koyama, K. Iga, "Frequency chirping in External Modulator," *J. Lightwave Tech.*, vol. 6, pp. 87-92, 1988.
- [8] G. P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics*. New York : Academic, 1989.
- [9] M. J. Potasek, G. P. Agrawal, "Self-amplitude-modulation of optical pulses in nonlinear dispersive fibers," *Phy. Rev. A*, vol. 36, pp. 3862-3867, 1987.

### 저 자 소 개

韓 燮(正會員) 第 34卷 D編 第 11號 參照



金 敬 鉉(正會員)

1972년 8월 23일생, 1996년 8월 홍익대학교 전파공학과 졸업(공학사). 1996년 9월 ~ 현재 연세대학교 대학원 전파공학과 재학중. 주관심분야는 광소자, 광통신

韓 相 國(正會員) 第 34卷 D編 第 11號 參照

현재 연세대학교 전파공학과 조교수