

論文 97-34D-11-12

# InGaAsP 전계흡수 광변조기 최적설계에 관한 연구

## (Optimum Design of InGaAsP Electroabsorption Optical Modulator)

韓 燮 \* , 韓 相 國 \*

(Sub Han and Sang-Kook Han)

## 요 약

초고속 광통신 시스템을 위한 전계흡수 광변조기의 소광효율, 동작대역폭, 편광손실, 처핑등을 고려하여 최적구조를 설계하였다. 동작파장은  $1.55\mu\text{m}$ 이고, 편광손실을 최소화하기 위해 deep ridge구조를 사용하였다. 모의실험결과, 10GHz 이상의 대역폭을 얻기 위해서는 흡수층 두께는  $0.25\mu\text{m}$  이상이고, 변조기 길이는  $200\mu\text{m}$ 이하가 되어야 하며, 동시에 10dB/V 이상의 변조효율을 갖기 위해서는 파장 detuning을 40meV이하로 설계하여야 한다.

## Abstract

An optimized electroabsorption modulator structure is designed for high speed optical communication systems considering the extinction efficiency, operating bandwidth, polarization loss, and wavelength chirping. The operating wavelength region is  $1.55\mu\text{m}$  and the deep ridge structure is adapted for the minimum polarization loss. Simulations show that the absorption layer thickness larger than  $0.25\mu\text{m}$ , and the modulator length shorter than  $200\mu\text{m}$  are required for the bandwidth over 10GHz. To obtain the modulation efficiency over 10dB/V, a wavelength detuning needs to be determined less than 40meV.

## I. 서 론

EDFA(Erbium doped fiber amplifier)를 사용할 수 Gbit/sec의 광통신 시스템이 보편화되면서, 광전력의 감쇄보다는 광신호의 왜곡에 의한 최대 전송거리의 제한이 중요한 문제로 다루어지고 있다. 최근에 광크기 변조를 위해 레이저 다이오드의 직접변조 보다는 개별 변조기를 이용하는 광전송에 관심이 모아지고 있다. 이는 개별 외부 변조기가 레이저 다이오드를 고속으로 직접 변조했을 때 나타나는 소광비(extinction

ratio)성능의 저하와 주파수 처핑(wavelength chirping)을 해결하여 증가된 전송거리를 갖게 하기 때문이다. 외부 변조기중 전계흡수 광변조기(electroabsorption modulator)는 제작이 간편하면서 작은 구동전력에서 높은 소광비 성능을 나타내고 높은 주파수 응답특성을 제공하므로 많은 연구가 진행중이다. 또한 III-V족 화합물 반도체를 사용하여 반도체 레이저나 다른 광소자들과 단일기판집적(monolithic integration)이 가능하고 크기를 상대적으로 작게 할 수 있는 유리한 점이 있다. 장파장대에서 사용 가능한 전계흡수 광변조기중 편광무관성의 측면에서 볼 때 InGaAsP 벌크물질을 사용한 이중 헤테로 구조가 가장 유리한데, 최근에 20dB이상의 소광비와 10GHz이상의 대역폭을 갖으며 펄스의 퍼짐에 관계되는 처핑 파라메

\* 正會員, 延世大學敎 電波工學科

(Dept. of Radio Communications Engineering, Yonsei University)

接受日字:1997年7月3日, 수정완료일:1997年10月15日

타  $\alpha$ 를 펄스압축효과를 낼 수 있도록 흡수가 되게 한 것이 발표되었다<sup>[11]</sup>. 하지만 소광비, 대역폭, 구동 전압, 처핑 등의 변조성능들은 각각 독립된 변수가 아니라 서로 밀접한 관계를 가지고 있으므로 각각의 특성을 따로 제시하기 보다는 전체적인 면에서 상호연관성을 고려한 최적설계가 요구된다.

본 논문에서는 InGaAsP 벌크물질을 이용한 전계흡수 광변조기를 10Gbit/s 이상의 변조속도에서 10dB/V이상으로 동작할 수 있도록 설계하였다. 변조기 구조(흡수층 두께, 변조기 길이, 파장 detuning등)를 변화시켜가며 동작성능의 변화를 모의전산 하고 각 동작성능간의 상호 관계를 통해 고효율을 낼 수 있는 소자구조를 얻었다. 변조기 특성을 결정하는 두 가지 특성, 즉 광도파로 특성과, 사용된 물질특성에 대해 언급하고 각각이 동작특성에 미치는 영향을 알아본다. 이 중 해테로 결합 P-i-N 형태를 광도파로 구조로 해석하였고 균일전계가정을 적용했다.

## II. 전계흡수 광변조기 설계

본 논문에서 다루는 주요 동작특성은 소광비, 대역폭, 처핑, 편광손실인데, 이들은 흡수층 두께와 변조기 길이, 그리고 흡수층 물질의 밴드갭 파장에 영향을 받게되므로 각각의 동작특성이 10Gbit/s, 10dB/V 이상의 변조효율을 만족할 수 있도록 흡수층 구조를 설계하고자 한다. deep ridge 형태의 전계흡수 광변조기 구조와 단면은 그림 1과 같다. P-i-N 다이오드 구조는 바이어스의 대부분이 두께 d의 흡수층인 I-InGaAsP 층에 걸릴 수 있도록 P, N층 불순물을 높이고 굴절률 차이를 두어 i-InGaAsP 층이 광 도파로를 형성하여 변조기 길이 L동안 빛이 가두어져 진행할 수 있게 되고, 바이어스 전압이 전체 변조기 길이에 걸리게 된다. 흡수층의 캐리어 농도가 매우 낮다고 한다면 역 바이어스 전압 V에서 모두 공핍되게 되어 흡수층에 걸리게 되는 평균전계 E는 거의 균일하게 되고, 그 값은  $V/d$ 가 된다. 이때 본 논문의 전계흡수 광변조기 해석에 기본이 되는 흡수계수 변화는 Seraphin의 식<sup>[2]</sup>로부터 유도된 다음의 해석적 표현으로 주어진다.

$$\alpha(\omega, E) = \frac{C}{\omega n} E^{1/3} \sum_j \left(\frac{2\mu_j}{m}\right)^{1/3} \times \left[ \left| \left( \frac{dAi_j(z)}{dz} \right)_\beta \right|^2 - \beta_j |Ai_j(\beta_j)| \right] \quad (1)$$

여기서  $\beta_j = 1.1 \times 10^5 (Eg - \hbar \omega)(2\mu_j/m)^{1/3}$

$E^{-2/3}$ ,  $\mu_j$ 는 reduced effective mass,  $Ai_j$ 는 Airy함수이며  $j$ 는 light- 그리고 heavy- hole valance 밴드에 해당한다. C는 여러 가지 물질변수들과 주요 물질상수들의 값을 포함한 값으로 matrix element의 불명확성에 의해 정확한 값을 구할 수 없고, 다만 측정된 값과의 일치율을 위해 자유변수로 놓는다<sup>[13]</sup>. 본 논문에서는 [4]에서 보고된 전계흡수 광변조기에서의 소광비로부터 구조와 바이어스를 고려하여 흡수계수 값을 계산하여서 C값을 구하였는데 그 값은  $8.778 \times 10^{19}$ 이다.

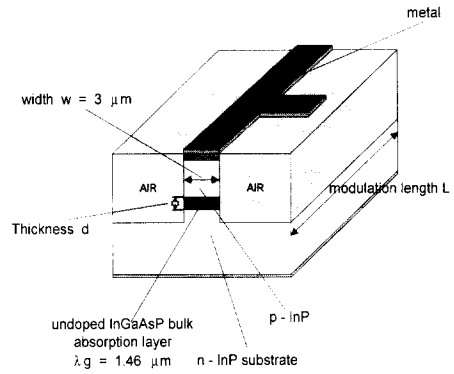


그림 1. 전계흡수 광변조기의 구조  
Fig. 1. Schematic of an electroabsorption modulator.

### 1. 소광비와 편광손실

소광비는 입출력 광 전력의 차이로 정의되고, 편광손실은 TE/TM모드 사이의 소광비 차이이다. 이 두 가지 동작특성은 흡수층 두께와 밴드갭 파장에 영향을 받으며 서로 상반된 경향을 갖게되고 변조기 길이의 변화에는 단조로운 변화를 보인다. 따라서 소광비와 편광손실을 함께 고려한다면 적절한 흡수층 두께와 밴드갭 파장을 선택해야 한다. 전계흡수 광변조기에서 변조되는 빛은 흡수층을 통과하면서 변조기 단면에서의 광 모드(optical mode)로 인하여 흡수층 밖으로 퍼지게 되면서 전체 흡수계수는 감소하게 되므로, 광구속성(optical confinement factor)  $\Gamma$ 는 흡수계수와 함께 변조기 설계의 중요한 요소가 된다. 따라서 광구속성을 포함한 유효적인 흡수인 모드 흡수계수  $\alpha_{\text{modal}} \equiv \Gamma \alpha$ 를 고려하여야 한다. 식 (1)에서 흡수계수는 흡수층 물질의 밴드갭 에너지와 광신호의 에너지 차이인 detuning( $Eg - \hbar \omega$ ), 바이어스 전압 V, 그리고 흡수층 두께 d의 함수가 되며 Marcatili 방법으로 광 도파로를 해석하면 d의 변화에 의한  $\Gamma$ 를 알 수

있다<sup>[5]</sup>. 그러므로 흡수층은 작은 구동전압 변화  $\Delta V$  에서 높은 변조효과를 내기 위해 모드 흡수계수의 변화  $\Delta \alpha_{\text{modal}}$ 이 커지도록, 즉 단위 전압대 모드 흡수계수 변화  $\Delta \alpha_{\text{modal}}/\Delta V$  를 최대화 할 수 있게 detuning과 흡수층 두께를 결정하여야 한다. 그림 2 는  $\Delta V$ 를 5V로 하였을 때, detuning 과 d를 변화시켜가며  $\Delta \alpha_{\text{modal}}/\Delta V$  의 변화를 보였다. d가 증가함에 따라 같은 바이어스 전압에서 흡수층에 걸리게 되는 외부전계는 감소하므로 흡수계수는 감소하게 된다. 하지만  $\Gamma$ 는 흡수층 두께에 따라 단조증가의 경향을 나타내므로 결국 모드 흡수계수가 최대가 되는 두께가 존재한다. 그림 2에서 detuning이 30meV 일 때 흡수층 두께가  $0.25 \mu\text{m}$ 에서  $\Delta \alpha_{\text{modal}}/\Delta V$  가 최대점을 갖으며, detuning이 커지면서 최대점은 작은 두께쪽으로 이동한다. 최대점의 이동은 외부전계의 감소에 따른 흡수계수의 감소가 큰 detuning에서 더 커지기 때문이다. 소광비는  $ER = 4.343 \alpha_{\text{modal}}L(\text{dB})$  로 나타낼 수 있는데 그림 2의 결과에 변조기 길이 L을 곱하면 쉽게 단위전압대 소광비를 구할 수 있다. 30meV의 detuning의 경우,  $200 \mu\text{m}$ 의 변조기 길이에서 최대 20dB/V의 소광비 성능을 보이며 두께가 변하고 detuning이 커지면서 소광비 성능은 감소한다.

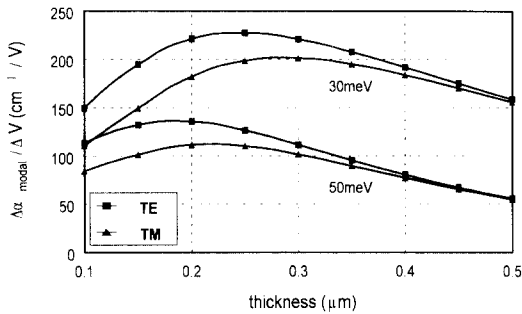


그림 2. 흡수층 두께변화에 따른 단위전압대 모드 흡수계수

Fig. 2. Modal absorption coefficient per unit voltage as a function of absorption layer thickness.

한편, 광 도파로 해석에서 TE모드와 TM모드가 존재하게 되는데 각 모드간에 전계분포가 다르므로 광구속성의 차이가 나타나며, 이것이 편광손실로 작용한다. 광구속성의 차는 흡수층 두께가  $0.2 \mu\text{m}$ 에서 최대가 되고 이 두께를 벗어나면서 줄어들게 되므로, 편광손실을 줄이기 위해서는 흡수층 두께를  $0.2 \mu\text{m}$  보다 크

게 하여야 하는데 이 경우 소광비가 줄게된다. 하지만 detuning을 줄여서 모드 흡수계수의 최대점을  $0.2 \mu\text{m}$ 에서 멀어지게 한다면 작은 편광손실에서 큰 소광비를 얻을 수 있게된다. 그림 2 에서 30meV의 detuning을 살펴보면 L이  $200 \mu\text{m}$ 의 경우 최대 소광비 성능을 갖는 두께에서 2.17dB/V의 편광손실을 갖게 되므로 이 이하로 편광손실을 제한한다면 d를  $0.25 \mu\text{m}$ 이상으로 하여야 하는데, 이때 소광비 성능의 저하를 감수해야만 한다.

2. 동작 주파수 대역폭

변조기의 주파수 특성은 주로 RC 시간상수에 의해 제한된다. 따라서 소자의 정전용량을 줄이기 위해 parasitics를 줄이는 한편, 변조기 길이를 줄이고 흡수층 두께를 크게 하여야 하는데 변조기 길이와 흡수층 두께는 소광비 특성과 관계되는 변수가 되므로, 결국 두께와 길이를 주파수 대역폭과 소광비에 대해 최적화하여야 한다. 주파수 특성을 구하려면 먼저 변조기를 lumped 회로소자로 모델링 하고 마이크로웨이브 바이어스 회로와 함께 주파수 응답을 얻어야 한다. 그림 3에서 변조기의 주파수 응답을 얻기 위한 회로모델을 보였다. 균일전계가정에서 흡수층은 모두 공핍되었으므로 흡수층의 정전용량은  $\epsilon_s(wL/d)$ 와 같다. 그 외에 변조기 내부 저항 r, 결합패드에 의한 정전용량  $C_p$ , 그리고 결합선에 의한 유도용량  $L_p$ 를 정의하고 각각  $5 \Omega$ ,  $0.07\text{pF}$ ,  $0.1\text{nH}$ 로 하였으며<sup>[5]</sup> 이 값들은 주파수에 무관하다고 가정하였다.

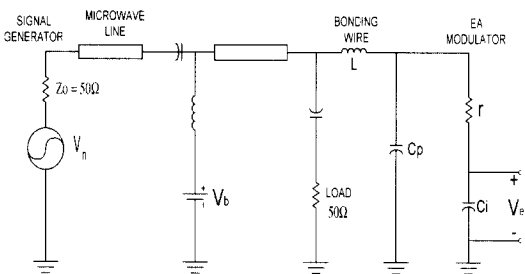


그림 3. 전계흡수 광변조기의 lumped 소자 회로 모델

Fig. 3. Lumped element circuit model for electroabsorption modulator.

정보원  $V_s$ 로부터 정현입력은 바이어스 회로를 통과하면서 바이어스 회로의 전달함수 H에 영향을 받게 된다. 따라서 실제 전계흡수 광변조기의 흡수층에 해

당하는  $C_i$ 에 걸리는 유효적인 바이어스  $V_e$ 에 의한 변조된 광출력  $P_{opt}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{opt} = P_o \exp[a_{mod ai}(V_e)L] \tag{2}$$

$$= P_o \exp[a_{mod ai}(H(\omega) V_b(1 + m \cdot \cos \omega_m t))L]$$

식 (2)에서  $V_b$ 는 dc바이어스,  $m$ 은 변조지수,  $\omega_m$ 은 정보신호의 주파수에 해당한다.  $H$ 는 RLC회로의 전달함수가 되므로 주파수가 높아질수록  $V_e$ 는 줄어들게 된다. 한편 바이어스에 의한 흡수계수의 변화가 흡수층의 굴절율을 변화시켜 위상변조효과를 내게되므로 크기변조와 위상변조의 커플링을 고려한 광전계는 아래와 같이 나타낼 수 있다<sup>[7]</sup>.

$$E(\omega) = P_{opt}^* \exp(j\omega_c t) \tag{3}$$

$$= P_o \{ S_{p0} \exp(j\omega_c t) + S_{p1} \exp(j(\omega_c \pm \omega_m)t) + \dots \}$$

여기서  $\omega_c$ 는 동작과장에 해당하는 주파수이고,  $S_{p0}$ 와  $S_{p1}$ 는 변조된 광 전력의 주파수 성분의 세기로 반송파인 빛과 정보신호에 해당하며,  $\gamma$ 는  $\gamma = (1 + \alpha_{par})/2$  로서 광크기와 위상의 커플링을 나타내고,  $\alpha_{par}$ 는 선폭증대계수(lineewidth enhancement factor)이다. 식 (3)은  $E(\omega)$ 의 스펙트럼을 나타내는데  $\omega_c + n \cdot \omega_m$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ )에 해당하는 주파수에서 델타함수의 출력이 있게되고,  $n=1$ 일 때가 광 정보신호에 해당한다. 따라서 광 주파수 응답(optical frequency response)을 얻기 위해서는  $S_{p1}$ 를 구하면 된다.

그림 4는 소신호시  $L$ 이  $200 \mu m$ 일 때 두께에 따른 3dB대역폭의 변화를 나타내었다. 10Gbit/s 전송을 위한 대역폭을 10GHz로 보았을 때, 두께에 대한 마진을 찾을 수 있다.  $d$ 는  $0.25 \mu m$ 이상으로 하여야 10GHz 이상의 대역폭을 얻을 수 있다. 두께가 감소할수록 흡수층의 정전용량이 증가하여 밴드폭의 손실을 가져오게 되는데 이것은 소광비와는 반대의 경향이다. 따라서 응용목적에 따라 소광비와 주파수특성을 적절히 조절하는 과정이 요구된다.

그림 5에는 변조기가  $200 \mu m$ 이고 detuning이 50meV일 때 두께 변화에 따라 특정한 소광비를 만족하기 위해 필요한 바이어스 전압과 이때의 대역폭을 나타내었는데 소광비와 주파수특성의 상관관계를 알 수 있다. 소광비를 유지하기 위해서는 모드 흡수계수를 일정하게 하여야 하는데 작은 두께에서는 외부 전계가 증가하게 되므로 큰 두께보다 작은 바이어스 전압만이 필요하다. 하지만 두께가 감소하면서 대역폭이

함께 감소하게 되므로 결국 소광비를 일정히 유지하면서 낮은 바이어스 전압에서 동작하려면 작은 대역폭을 갖는 구조가 설계될 수밖에 없다. 예를 들어 20dB의 소광비를 갖으며 10GHz이상의 대역폭을 얻으려면 바이어스 전압을 2.4V이상으로 하여야 한다.

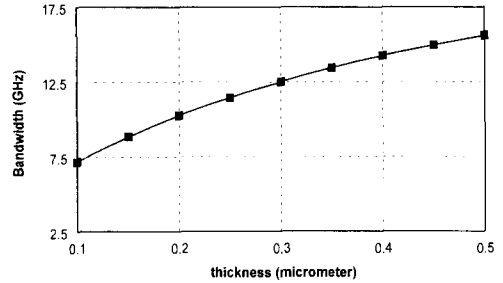


그림 4. 흡수층 두께에 따른 대역폭  
Fig. 4. Bandwidth as a function of absorption layer thickness.

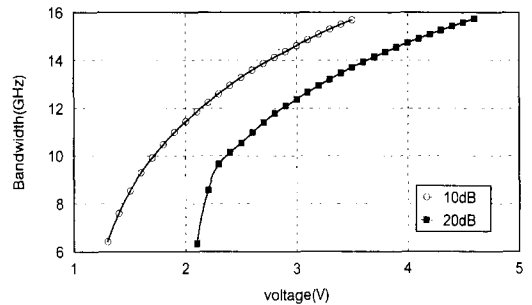


그림 5. 바이어스 전압변화에 따른 3dB 대역폭 변화  
Fig. 5. Bandwidth variation vs. bias voltage.

그림 6은 두께가  $0.3 \mu m$ 인 소자에서 10dB/V의 소광비를 얻기 위한 변조기 길이와 소신호 주파수 응답시의 대역폭을 detuning에 대해 나타내었다. detuning이 작게 되면 짧은 변조기 길이에서도 높은 소광비를 얻을 수 있으므로 상대적으로 낮은 전력에서 고속으로 동작할 수 있는 소자를 설계할 수 있다. 10GHz 이상의 대역폭을 유지하며 10dB/V의 소광비를 내려면 소자길이를  $200 \mu m$ 이하로 낮추며 detuning을 40meV이하로 줄여야 한다. 따라서 본 논문에서  $1.46 \mu m$ 의 밴드갭 파장에서는  $0.3 \mu m$ 의 두께와  $200 \mu m$ 의 변조기 길이였을 때 흡수층 구조는 최적화 되었다고 할 수 있다.

한편, 0V 근처에서는 바이어스 전압변화에 대한 소광비의 변화가 작으므로 on상태의 전압을 0으로 하지

않는데 이로 인한 잔여흡수가 광도파로의 불완전성에 의한 흡수계수와 합하여 변조기내 전송손실(propagation loss)로 나타난다. detuning이 작아지면 이 흡수계수가 커져 전송손실도 커지게 된다. 그림 7은 detuning이 전송손실에 미치는 영향을 보여준다. 두께 0.3 μm에서 1.5V를 on상태로 하고 변조기 길이를 100 μm, 200 μm, 300 μm으로 했을 때 detuning에 의한 전송손실의 변화이다. 소광비가 10dB/V인 파장 영역에서는 전송손실도 20dB/mm 이상이 된다.

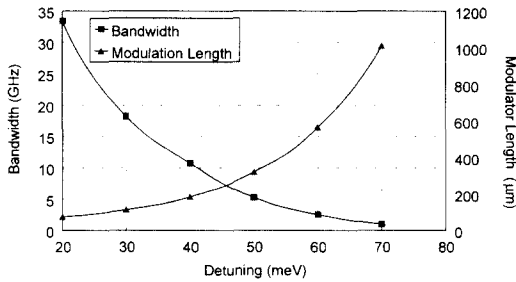


그림 6. 두께 0.3 μm에서 파장 detuning에 따라 10dB/V의 소광비 성능에 필요한 변조기 길이와 대역폭  
 Fig. 6. Modulator length and bandwidth for 10dB/V extinction ratio as a function of wavelength detuning with the absorption layer thickness of 0.3 μm.

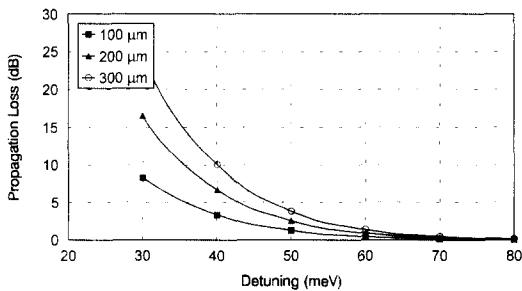


그림 7. 두께 0.3 μm에서 1.5V를 on상태로 했을 때 파장 detuning에 따른 전송손실  
 Fig. 7. Propagation loss at 1.5V on state as a function of wavelength detuning with the absorption layer thickness of 0.3 μm.

3. 파장왜곡

전계흡수 광변조기에서의 처핑은 강한 외부전계에 의한 흡수 스펙트럼의 변화가 굴절률 변화와 관계하며 생기는 것이다. 따라서 전계흡수 광변조기의 처핑은 흡수계수와 관계되는 변수들, 즉 흡수층 두께나 de-

tuning에 직접적으로 관련되고, 이런 구조에 관한 요소들 이외에 바이어스 전압도 처핑을 결정하는 주요 변수가 된다. 처핑을 가늠하는 척도인 선폭증대계수  $\alpha_{par}$ 는 여러 가지 정의가 있을 수 있으나 본 논문에서는 실제 전송에 적용할 수 있도록 on-off 바이어스 시에 해당하는 대신호시를 기준으로 하여 식 (4)과 같이 정의한다.

$$\alpha_{par} = \frac{4\pi}{\lambda} \frac{\Delta n(V_{ON}) - \Delta n(V_{OFF})}{\alpha(V_{ON}) - \alpha(V_{OFF})} \quad (4)$$

이때 굴절률의 실수부 변화는 Kramers-Kronig 관계에 의해 흡수계수의 변화와 관계되며 식 (5)으로 표현된다<sup>[2]</sup>.

$$\Delta n(\omega, \Delta E) = \frac{c}{\pi} \int_0^\infty \frac{\Delta \alpha(\omega', \Delta E)}{\omega'^2 - \omega^2} d\omega' \quad (5)$$

식 (5)에서 바이어스 전압에 의한 외부 전계변화와 detuning에 의해 결정되는 흡수계수 스펙트럼의 모든 주파수 성분이 굴절률의 실수부 변화에 영향을 주게 된다. 그림 8은 200 μm 변조기 길이, 45meV의 detuning에서 두께변화에 따라 바이어스 전압을 10dB와 20dB의 소광비를 만족하도록 걸어주었을 때의  $\alpha_{par}$ 이다. 그림 8에서 알 수 있듯이  $\alpha_{par}$ 는 두께 변화와 소광비에 뚜렷이 영향을 받게된다. 두께변화에 따라 소광비를 일정히 하였으므로 각 두께에서의 바이어스는 각각 다르게 되므로 결국  $\alpha_{par}$ 는 바이어스 전압에 크게 좌우된다고 할 수 있다. 두께가 줄어들고 소광비가 높을수록  $\alpha_{par}$ 가 줄어드는 것은 Kramers-Kronig 관계로 설명할 수 있다. 소광비를 일정하게 유지하려면 모드 흡수계수를 일정하게 하여야 하는데 작은 두께에서는 광구속성이 작아지기 때문에 큰 두께에 비해 상대적으로 강한 전계가 필요하게 된다. 굴절률의 허수부인 흡수계수는 전계증가에 대해 선형적인 특성을 나타내고, 굴절률의 실수부는 비선형적인 특성을 갖게되기 때문에 강한 전계상태인 작은 두께, 그리고 높은 소광비에서 낮은  $\alpha_{par}$ 값을 나타낸다. 그림 9는 0.3 μm두께, 200 μm길이에서 20dB의 변조깊이를 얻을 때의 detuning에 따른  $\alpha_{par}$ 이다. detuning과  $\alpha_{par}$ 는 뚜렷한 함수관계가 없고<sup>[8]</sup>, 단지 소광비 성능이 우수하여 관심을 모으는 작은 detuning범위에서는 detuning이 작아질수록  $\alpha_{par}$ 도 작아지는 경향을 보였다.

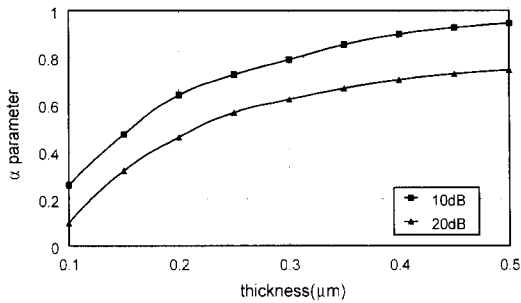


그림 8. 10dB와 20dB 소광비에서 두께 변화에 따른  $\alpha$  변수

Fig. 8.  $\alpha$  parameter as a function of absorption layer thickness at 10dB and 20dB.

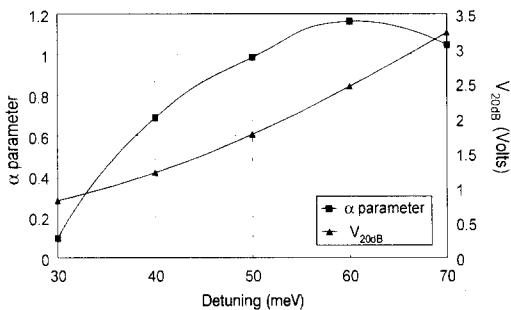


그림 9. 20dB 소광비에서 파장 detuning에 따른  $\alpha$  변수와 필요전압

Fig. 9.  $\alpha$  parameter and the required bias voltage for 20dB extinction ratio as a function of wavelength detuning.

### III. 결 론

Deep ridge 구조를 갖고, InGaAsP 물질을 사용한 전계흡수 광변조기의 구조를 주요 동작특성을 고려하여 설계하였다. 해석적인 흡수계수를 이용했고, Marcatili방법을 통하여 광 도파로를 해석했다. 두께가 증가함에 따라서 편광손실과 주파수 특성은 향상되지만 소광비 특성과 처핑 특성은 저하된다. 두께변화에 따른 소광비와 주파수특성의 상반된 경향은 특정 소광비를 만족했을 때 대역폭과 구동전압으로 나타낼 수 있으며 최적화 과정이 필요하다. detuning은 소광비 특성과 처핑특성에 직접적으로 영향을 주게되며, 작은 detuning 값에서 소광비 특성이나 처핑특성이 모두 우수해진다. 소광비와 주파수 특성과의 관계를 고려한다면 작은 detuning에서 넓은 대역폭에서 낮은 전압으로 동작할 수 있는 소자를 설계할 수 있다. 계산

결과, 10GHz 이상의 대역폭에서 동작하기 위한 구조로 흡수층 두께는  $0.25\mu\text{m}$ 이상이고, 변조기 길이는  $200\mu\text{m}$ 이하가 되어야 하며, 이런 구조에서 10dB/V의 소광비 특성을 내기 위해서 파장 detuning을 40meV이하로 설계하여야 한다.

### 감사의 글

※ 본 연구는 1996년 교육부 반도체 분야 학술연구 조성비(ISRC 96-E-3206)의 지원에 의해 수행되었음에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- [ 1 ] K. Yamada, K. Nakamura, "Negative-Chirp Electroabsorption Modulator Using Low-Wavelength Detuning," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 7, pp. 1157-1159, 1995.
- [ 2 ] B. O. Seraphin, N. Bottka, "Franz-Keldysh Effect of the Refractive Index in Semiconductor," *Phys. Rev.*, vol. 139, pp. A560-A565, 1965.
- [ 3 ] 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.
- [ 4 ] K. Yamada, H. Murai, "Low polarization 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, pp237-238, 1995.
- [ 5 ] E. A. J. Marcatili, "Dielectric Rectangular Waveguide and Directional Coupler for Integrated Optics," *Bell. System Technol. J.*, vol. 48, pp. 2071-2103, 1969.
- [ 6 ] K. Wakita, I. Kotaka, "Observation of Low-chirp Modulation in InGaAs-InAlAs Multiple-Quantum-Well Optical Modulators Under 30GHz," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 3, pp. 138-140, 1991.
- [ 7 ] O. Mitomi, S. Nojima, "Chirping Characteristic and Frequency Response of MQW Optical Intensity Modulator," *J. Lightwave*

*Tech*, vol. 10, pp. 71-77, 1992.

논문, pp. 190, 1997.

[ 8 ] 한 섭, 한상국, 제 4회 광전자공학회 학술회의

— 저 자 소 개 —



韓 燮(正會員)

1974년 1월 31일생. 1996년 홍익대학교 전파공학과 졸업(공학사). 1996년 ~ 현재 연세대학교 전파공학과 석사과정. 주관심분야는 광소자 설계 및 해석등임



韓 相 國(正會員)

1963년 9월생. 1986년 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). University of Florida 전기공학과(석사). 1994년 University of Florida 전기공학과(박사). 1994년 ~ 1996년 현대전자 시스템 IC연구소 선임연구원. 1996년 3월 ~ 현재 연세대학교 전파공학과 조교수. 주관심분야는 광소자설계 및 해석, 파장변환기술, 광통신시스템 등임