Optical Society of Korea Summer Meeting (8.17~18, 2000)

반도체 전계광학 광변조기의 변조특성

Modulation characteristics of semiconductor electrooptic light modulators

이종창, 최왕엽, 박화선, 변영태*, 김선호*
홍익대학교 전자공학과, *KIST 광기술센터
wave@hongik.ac.kr

GaAs/AlGaAs나 InGaAs/InGaAsP와 같은 반도체 기판을 이용한 전계광학 광변조기는 LD나 SOA와 같은 광소자와 단일기판 집적이 가능하고 낮은 chirping과 높은 변조대역폭을 갖는 외부광변조기로서의 장점으로 인하여 마이크로파 대역의 초고속광통신소자로 각광을 받아왔다. 특히 진행파의 속도가 정합된 traveling-wave 전극 구조를 갖는 경우 변조대역폭은 30-40GHz에 달하고 있다[1]. 그러나 한편으로는 반도체의 전계광학계수(electro-optic coefficient)가 $LiNbO_3$에 비해 10분의 1정도로 작아 상대적으로 동작전압이 커지는 단점이 대두되며 실제 구동전압이 수십 V에 이르고 있다. 이런 단점을 극복하기 위하여 p-i-n 구조를 이용하여 전계 집속도를 높이는 방법이 제안되어 동작전압이 2 V/mm 정도까지 감소하였다[2]. 본 논문에서는 이와 같은 반도체 전계광학 광변조기에서의 소신호 및 대신호 광변조특성을 분석함으로써 보다 높은 변조대역폭과 보다 낮은 동작전압을 갖는 구조를 연구하였다.

먼저 진행파형 광변조기의 변조특성은 아래 그림과 같이 광도파로의 group index (n_{eff}) 와 전극의 마이크로파 group index (n_m) 의 차이에 의해 결정된다[3]. 그림 1을 통하여 보듯이 변조기의 길이가 1cm 일 경우 group index 부정합이 10%정도 일 때 변조대역폭은 40 GHz 이하, 20%일 경우는 20 GHz 이하가 된다. 그러므로 광파와 마이크로파의 속도정합을 구현하는 것이 고속광변조기 설계에 있어서 가장 주요한 과제가 된다. 반도체인 경우 일반적으로 마이크로파의 group index가 광파의 group index보다 작아 마이크로파의 속도를 지체시키는 저속진행파형 전극(slow-wave traveling-wave electrode)을 구현하여야 한다. 대개 그림 2와 같은 요철형 전극구조[1]를 사용하거나 그림 3과 같은 strip loaded slow wave[2] 구조를 사용하는 방법이 제안되어 있으며 본 연구를 통하여 이들의 속도정합특성을 조사하였다.

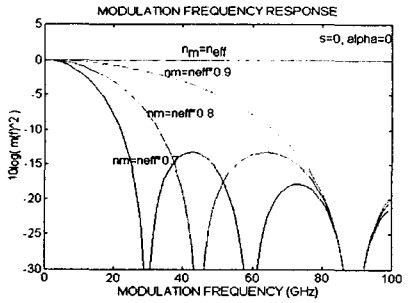

그림 1. 마이크로파와 광파의 진행속도정합이 광변조특성에 미치는 영향.

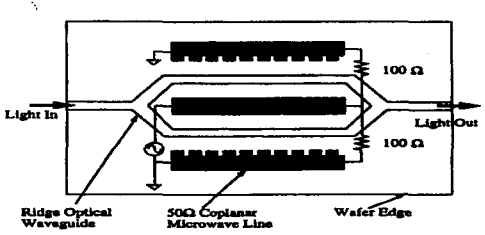

그림 2. 요철형 전극구조를 이용한 속도정합 진행파 광변조기 구조.

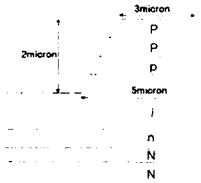

그림 3. p-i-n 구조를 이용한 저속진행파 광변조기 구조.

반도체 광변조기의 대신호 변조특성을 측정하기 위하여 위 그림 3과 같은 p-i-n 구조의 광변조기를 측정하여 저주파 광변조특성을 측정하였다. 아래 그림 4는 너비 3 μm 의 rib-waveguide 구조를 갖는 GaAs/AlGaAs 광변조기의 단면 SEM 사진이며 그림 4와 5는 각각 1.3 micron 파장에서 측정한 TE/TM 모드에서의 광변조특성이다.

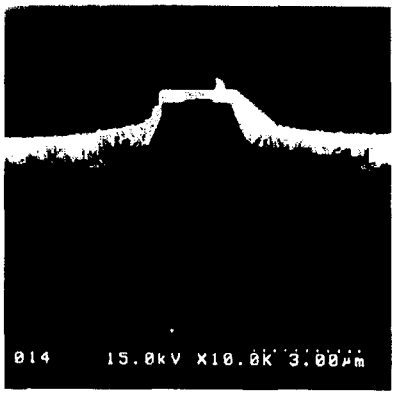

그림 4. p-i-n rib-waveguide 구조를 갖는 GaAs/AlGaAs 광변조기의 SEM 사진.

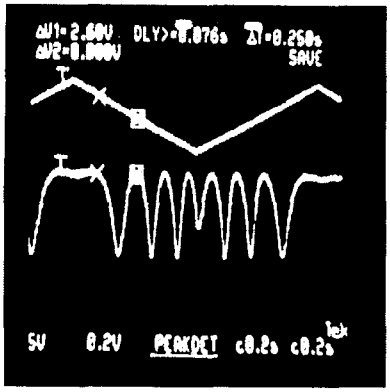

그림 5. 측정파장 $\lambda = 1.3\mu m$ 에서의 TE 모드 광변조 특성

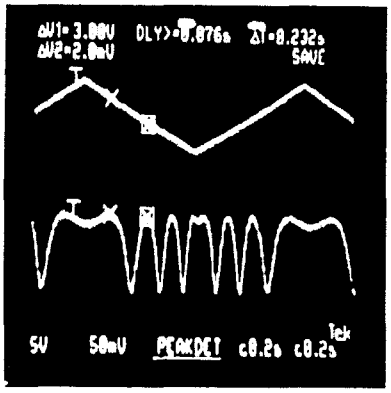

그림 6. 측정파장 $\lambda = 1.3\mu m$ 에서의 TM 모드 광변조 특성

의 측정결과를 정량적으로 환산하면 아래 그림 7과 같다. 0~2 V 사이의 저전압에서는 단위 인가전압 당 위상변조 크기가 매우 작지만 어느 정도의 bias 전압이 인가된 후에는 단위 V 당 위상변화가 0.5 π 에 달하게 되므로 push-pull 방식으로 광변조기를 구현하면 π 위상변조에 필요한 전압을 1 V 정도로 낮춰줄 수 있음을 알 수 있다. 한편 반도체의 낮은 전계효과 계수를 감안할 때 본 실험결과와 같은 효율적인 위상변화를 얻을 수 있는 이유로서는 통상적인 선형전계효과 (linear electrooptic effect)외에 QEO(quadratic electrooptic)나 plasma effect 등의 효과가 더 커지기 때문일 것이라고 추론할 수 있다. 실제로 <110> 방향의 rib-waveguide 형태의 반도체광변조기에서는 LEO 효과가 TE 모드에서만 나타난다. 따라서 TE/TM 모드의 위상변조크기의 차이가 LEO 효과에 해당하는데, 그림 7을 보면 이 차이는 전체 위상변조크기에 비해 10% 정도에 그친다. 본 논문에서는 이와 같은 LEO, QEO, plasma 효과 등을 self-consistent 한 Poisson 해석 알고리듬[4]을 이용하여 정량적으로 계산하여 실험결과와 비교 분석하였다.

1. R. Spickermann and N. Dagli, *IEEE Trans. Microwave and Tech.*, **42**, pp. 1918-24 (1994).
2. Y. T. Byun, K. H. Park, S. H. Kim, S. S. Choi, J. C. Yi, and T. K. Lim, *Applied Optics*, **37**, no.3, 496-501 (1998).
3. S. Uehara, *IEEE J. Quantum Electron.* **QE-9**, pp. 984-986, (1973).
4. J. C. Yi, M. Thomas, and N. Dagli, *Integrated Photonics Research 1994 Technical Digest Series*, **3**, pp. 216-218 (1994).

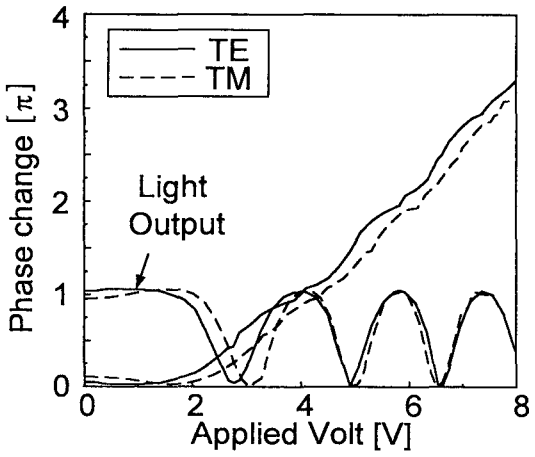

그림 7. 광변조기의 위상 변조특성.