

FDTD를 이용한 진행파형 버섯형 전계흡수 변조기의 분석 및 설계

Analysis and design of traveling-wave mushroom-type electroabsorption modulator using FDTD method

옥성해, 공순철, 최영완, 이 석*, 우덕하*, 김선호*

중앙대학교 병렬광접속연구실, *한국과학기술연구원 광기술연구센터

okse@kist.re.kr

전계 흡수 광 변조기는 우수한 소광비와 낮은 전력 소모로 넓은 대역폭을 확보할 수 있으며 LD와의 단일 집적인 EML(electro-absorption modulator integrated laser diode)의 제작도 용이하므로 Microwave-Photonics 시스템에 매우 적합한 소자로써 근래에 활발한 연구가 진행되어지고 있다. 전계 흡수 광 변조기의 대역폭을 최대한 확보하기 위해서는 진행하는 마이크로파의 위상속도와 광파의 그룹속도가 정합 되어야 하며 소자의 임피던스가 50Ω에 정합 되어야 한다. 진행파형 전계 흡수 광 변조기는 캐패시턴스가 소자 전체에 분포하도록 전극이 전송 선로가 되도록 설계되어 있으므로 긴 도파관을 확보할 수 있고 따라서 충분한 흡수가 일어날 수 있으므로 변조 효율을 희생시키지 않으면서 RC(resistance-capacitance)시정수에 의한 제한을 극복할 수 있다. 일반적인 진행파형 CPW 광 변조기는 리지(ridge)형으로 되어있기 때문에 전계는 마이크로 스트립 라인과 같이 활성 영역에 수직으로 분포하게 된다. 또한 전계가 공기 중으로 상당부분 진행하기 때문에 마이크로파의 유효 유전율을 $(\epsilon_r + 1)/2$ 까지 낮출 수 있게 된다. 따라서 전계가 활성 영역에만 속박되는 마이크로 스트립 라인 구조보다 CPW 구조가 마이크로파의 전송 속도가 빠르게 된다. 그림 1과 같은 버섯형 구조는 기존의 CPW 구조에서의 진성 영역 위의 P층을 넓게 제작함으로써 그림 2와 같이 공기중으로 진행하는 전계를 늘려서 유효 유전율을 낮추어 마이크로파의 속도를 향상시키고 그림 3과 같이 특성임피던스를 25Ω 이하까지 낮출 수 있다. 따라서 버섯형 진행파형 광 변조기를 2개 연결하여 구성함으로써 특성 임피던스를 50Ω에 정합할 수 있다. 버섯형의 진행파형 광 변조기는 여러 가지 층으로 구성된 복잡한 구조를 갖고있으므로 정확한 분석을 위해서는 대략의 등가회로보다 수치해석 방법이 유리하다. 등가회로를 구현하기 위해선 실험 데이터를 이용하여 회로의 성분(resistance, capacitance, inductance)을 구하거나 마이크로 스트립 구조나 CPW구조를 적당히 조합하여야 한다. FDTD 알고리즘은 미분형 Maxwell 방정식을 시간과 공간 영역에 이산화 시키는 근사 방법으로 full-wave 해석이 가능하다. full-wave 해석은 표면파 효과, 복사 파, 외부 소자와 결합 효과를 계산할 수 있으며 임의의 소자 형태, 다양한 급전 구조, 다층 구조, 비 등방성 유전체의 경우에도 해석이 가능하다. 본 논문에서는 Yee의 방법[4]에 기초하여 시간적 변화를 갖는 Maxwell 방정식을 유한 차분 방정식으로 시간과 공간에 대하여 근사 시키는 3 차원 FDTD를 이용하여 광 파와 마이크로파의 위상 속도 정합을 만족시키는 진행파형 버섯형 전계 흡수 변조기의 디자인을 수행하였다. 그림 1의 층 구조에서 마이크로파 전송 특성의 분석을 위하여 모의실험에서는 0의 두께를 갖는 손실이 없는 전극 구조를 가정하였다. 비록 이와 같은 가정은 두꺼운 전극과 ridge 구조에 기인한 공기 중으로의 마이크로파 에너지의 유출에 기인하여 실제의 것보다 약간 더 큰 마이크로파의 유효 굴

절질($n_{eff,m}$)을 초래할 수 있으나 그 차이는 미미하다. 시간 영역에서 계산된 FD-TD 데이터는 푸리에 변환에 의하여 주파수 영역에서의 변수를 구할 수 있다. 주파수영역 분석에 사용된 수식은 다음과 같다.

$$\gamma(\omega, z_i) = \frac{1}{2z_i} \ln \left[\frac{\sqrt{\left(\frac{V(\omega, z_i)}{I(\omega, z_i)}\right)_o} + \sqrt{\left(\frac{V(\omega, z_i)}{I(\omega, z_i)}\right)_s}}{\sqrt{\left(\frac{V(\omega, z_i)}{I(\omega, z_i)}\right)_o} - \sqrt{\left(\frac{V(\omega, z_i)}{I(\omega, z_i)}\right)_s}} \right] \quad Z(\omega, z_i) = \sqrt{\left(\frac{V(\omega, z_i)}{I(\omega, z_i)}\right)_o} \cdot \sqrt{\left(\frac{V(\omega, z_i)}{I(\omega, z_i)}\right)_s}$$

여기서 $\gamma(\omega, z_i)$ 와 $Z(\omega, z_i)$ 는 $z = z_i$ 일 때 전파상수와 특성 임피던스 이고 첨자 o 와 s 는 각각 개방과 단락을 의미한다.

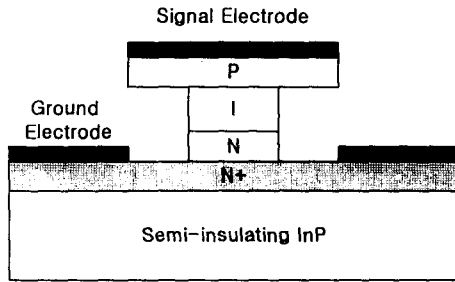


그림1. 진행파형 버섯형 전계흡수변조기

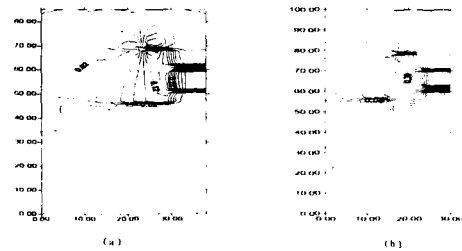


그림2. 수직 단면에서의 (a) 전계 와 (b) 자계분포

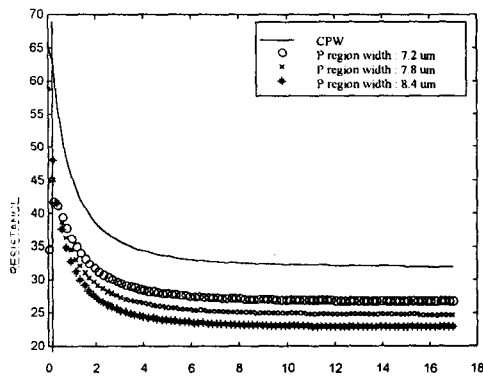


그림3. 특성임피던스의 resistance
참고문헌

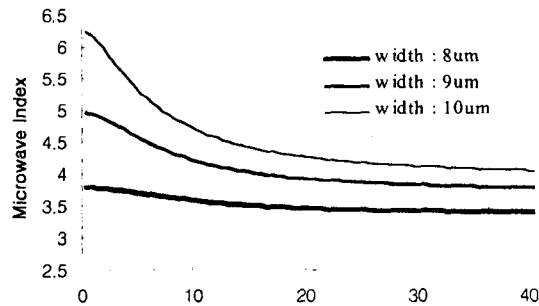


그림4. P 영역의 크기에 따른 마이크로파 유효 굴절률

[1] F. Devaux, S. Chelles, A. Ougazzaden, A. Mircea, and J. C. Harmand, "Electroabsorption modulators for high-bit-rate optical communications: A comparison of strained InGaAs/InAlAs and InGaAsP/InGaAsP MQW," *Semiconduct. Sci. Technol.*, vol. 10, pp. 887-901, 1995.

[2] T. Ido, S. Tanaka, M. Suauki, M. Koizumi, H. Sano, and H. Inoue, "Ultra-high-speed multiple-quantum-well electro-absorption optical modulators with integrated waveguides," *J. Lightwave Technol.*, vol. 14, pp. 2026-2034, 1996.

[3] K. Wakita, K. Yoshino, I. Kotaka, S. Kondo, and Y. Noguchi, "High-speed, high efficiency modulator with polarization insensitive and very low chirp," *Electron. Lett.*, vol. 31, pp. 2041-2042, 1995.

[4] K. S. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.AP-14, 302-307, 1966.