

TE 모드의 위상변화만을 일으키는 GaAs/Al_{0.35}Ga_{0.65}As

도파로 위상변조기의 제작 및 변조특성

Fabrication and Modulation Characteristic of TE-selective GaAs/Al_{0.35}Ga_{0.65}As waveguide phase modulator

김선필, 손정민, 이상선, 이석*, 우덕하*, 김선호*
 한양대학교 전자통신전공학과, *한국과학기술연구원
 toughksp@kist.re.kr

반도체 소자에 있어서 굴절율의 변화는 중요한 역할을 한다. 굴절율을 변화시키는 다양한 요소들은, 전계에 의한 1차 전기광학(linear electro-optic: LEO) 효과와 2차 전기광학 (quadratic electro-optic: QEO) 효과, 자유 운반자에 의한 밴드갭이(band-gap shift: BS) 효과와 플라즈마(plasma: PL) 효과 등으로 잘 알려져 있다.^(1, 2) 본 논문에서는, 오로지 TE 모드에 대해서만 선택적으로 위상 변화를 주는 P-I-i-I-N GaAs/Al_{0.35}Ga_{0.65}As 도파로 위상변조기를 보고한다. TE-선택적인 위상 변화는 편광에 의존적인 LEO 효과를 이용함으로써 얻어질 수 있다. 동작 파장이 1.55 μm 로 GaAs의 밴드 갭 파장과는 멀리 떨어져 있고, 가해진 전계 영역에서 광 모드의 분포를 억제함으로써 다른 효과들은 무시할 수 있다. 본 연구는 집적화된 광 TE-TM 모드 분리기들 - 편광상태에 민감한 광 시스템에서 매우 중요한 역할을 하는 소자들- 의 개선을 위한 데서 그 동기가 되었다. 비대칭 Y-branch, 방향성 결합기, TE- 와 TM 모드에 대해 서로 다른 결합길이를 갖는 double-mode waveguide 등을 이용한 다양한 guided-wave TE-TM 모드 분리기들이 보고되어졌다.^(3, 4) 그러나, Mach-Zehnder interferometer(MZI)를 이용한 III-V 족 반도체에서는 아직까지 성공적으로 개발되지 않았다. 그 이유는 효율적인 TE- 또는 TM-선택적인 위상변조를 시키지 못하기 때문으로 생각된다. 따라서, 본 논문에서 보고한 TE-선택적인 P-I-i-I-N GaAs/ Al_{0.35}Ga_{0.65}As 도파로 위상변조기는 MZI TE-TM 모드 분리기에 매우 효율적으로 이용될 것이다. 그림 1은 P-I-i-I-N 도파로 위상변조기의 에피박막의 특징들과 2차원 단면구조 및 굴절율 분포를 나타내고 있다. 최적의 단일모드 도파로 조건을 찾기 위해서 3-D BPM_CAD를 이용하여 모의 전산 했으며, 그 결과 1.55 μm 파장에서 도파로의 폭은 4 μm 였고, 깊이는 1 μm 였다. 단일모드 도파로 위상변조기를 제작하기 위한 에피박막 구조는 (100) 방향의 n⁺-GaAs 기판 위에 MOCVD 기법으로 성장되었다. GaAs 도파로 층과 Al_{0.35}Ga_{0.65}As 광 구속 층 사이의 굴절율 차가 크기 때문에 광 구속 층은 모드를 도파로 층에 강하게 구속한다. 그 결과 기판으로 누출되는 모드 필드가 작아서 흡수 손실이 작아진다. 얇은 도파로 층은 LEO effect에 의한 위상변조 효율을 최대로 하기 위한 두께로 최적화했다. 또한 n⁺-Al_{0.35}Ga_{0.65}As 아래쪽 클래딩 층은 n⁺-GaAs 기판으로 광 누출을 막기 위해 두껍게 했다. 4 μm 폭과 1 μm 깊이의 도파로는 포토리소그래피와 습식식각 방법을 이용하여 웨이퍼 위에 [01 $\bar{1}$] 방향으로 제작되었다. 식각된 도파로 구조 위에 polyimide(G-7640E)가 스핀 코팅으로 도포된 뒤 오븐을 이용하여 4단계의 온도에서 경화된 후, 도파로의 전극 층만이 노출되도록 O₂ plasma asher 장비를 이용하여 산소 플라즈마로 식각되었다. Ohmic contact을 위해 electron-beam 증착기로 증착된 후, rapid thermal annealin

장비를 이용하여 410°C에서 30초 동안 열처리되었다. 마지막으로 위상변조기의 길이는 3.1mm 길이로 cleaving 되고 금도금된 마운트 위에 silver paste로 고정되었다. 그림 2는 제작된 위상변조기의 도파로 모양 및 near-field pattern을 보이고 있으며, 단일모드만이 도파되는 것을 알 수 있다. 위상변조 효율은 광 도파로와 그것의 양쪽 끝 단면들이 Fabry-Perot 공명기를 형성하므로 FP 공명 방법을 이용하여 측정되었다.⁽⁵⁾ 0V부터 -8V 까지 변하는 톱니파형 전압이 저주파수로 위상변조기에 인가되었다. 투과광의 세기가 임의의 최대점(최소점)에서 인접한 최대점(최소점)까지 변할 때의 전압차가, π 만큼의 위상변화를 일으키는데 필요한 전압인, V_π 이다. 따라서, V_π 와 변조기 길이를 알면 1mm 도파로에 1V의 전압이 인가될 때의 위상변화로 정의되는 위상변조 효율 $\Delta\phi$ 이 얻어진다. 그림 3 (a)는 TE-편광된 빛에 대해서 역 바이어스 전압의 함수로 FP 공명에 의한 투과광 세기의 변화를 보여준다. 측정된 변조기는 그 길이가 3.1mm이고 $V_\pi=7.36V$ 이므로, 위상변조 효율 $\Delta\phi=7.9^\circ/V \cdot mm$ 이다. 이 효율은 참고문헌 [6]에서 발표된 변조기의 위상변조 효율($2.9^\circ/V \cdot mm$) 보다 거의 2.5배정도 향상된 결과이다. 또한 TM-편광된 빛에 대해서는 위상변조가 일어나지 않아야 하는데, 그림 3 (b)의 측정된 결과는 투과광 세기의 변화가 없으므로 위상변조 되지 않았음을 잘 보여준다.

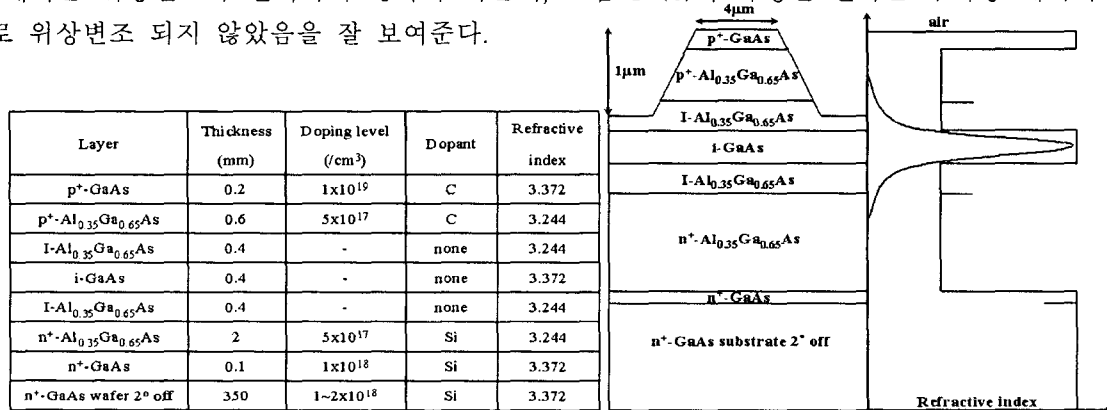


그림 1. 도파로 위상변조기의 각 에피층 구성과 2차원 단면구조 및 굴절률 분포

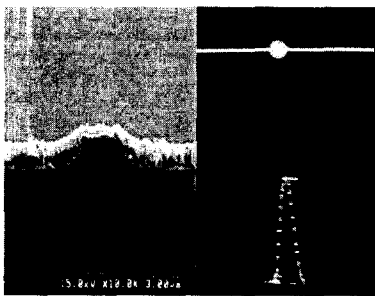


그림 2. 도파로의 SEM 사진과 Near-Field Pattern

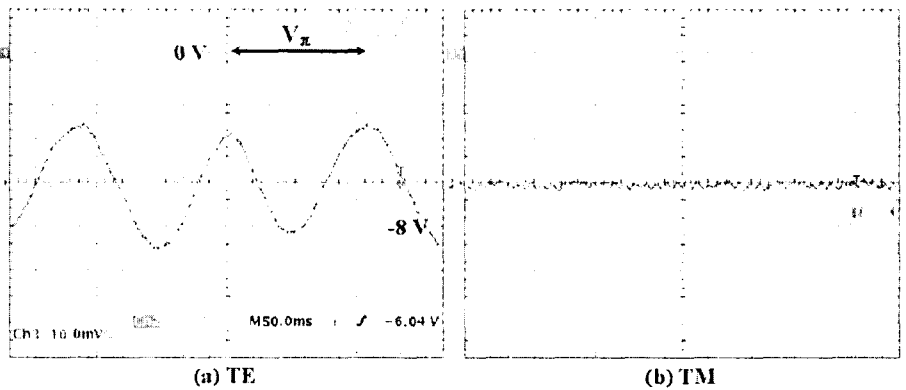


그림 3. 위상변조기에서 역 바이어스 전압으로 변조된 출력광 사진

※ 본 연구는 1998년도 한국학술진흥재단 대학부설연구소과제 연구비에 의하여 연구되었음.

[1] S. S. Lee, R. V. Ramaswamy and S. Sundaram, IEEE J. Quantum Electron. 27, 726-736 (1991).
 [2] J.G. Mendoza-Alvarez, L.A. Coldren, IEEE J. Lightwave Technol. 6, 793-808 (1988).
 [3] P. Wei, and W. Wang et al., IEEE Photon. Technol. Lett. 6, 245-248 (1994).
 [4] K. Okamoto, M. Doi, T. Irita, Y. Nakano, and K. Tada, Jpn. J. Appl. Phys. 34, 151-155 (1995).
 [5] Y. T. Byun, K. H. Park, S. H. Kim, S. S. Choi, J. C. Yi, and T. K. Lim, Appl. Opt. 37, 99-104 (1998).
 [6] R.J. Deri, E. Kapon, J.P. Harbison et al., Appl. Phys. Lett. 53, 1803-1805 (1988).