

표면 수직 입사 방식의 완전 공핍 광 싸이리스터 레이저 다이오드

Depleted optical thyristor - Laser Diode using surface-normal injection method

최운경*, 김두근, 최영완,
a)이석, 우덕하, 변영태, 김재현, 김선호

중앙대학교 광전자 및 광통신 연구실
a)한국과학기술연구원 광기술연구센터

Abstract

We present the first demonstration of the vertical-injection depleted optical thyristor laser diode with InGaAs/InGaAsP multiple quantum well structure. The measured switching voltage and current are 3.36 V and 10 A respectively. The holding voltage and current are respectively 1.37 V, 100 A. The lasing threshold current is 131 mA at 25 C. The output peak wavelength is at 1578 nm at a bias current equal to 1.22 times threshold.

보다 낮은 스위칭 전압과 보다 빠른 스위칭 속도를 위해 Depleted optical thyristor (DOT)에 대한 많은 연구가 진행되었다. 그 중 Swoger^[1]에 의해 double - heterostructure opto electronic switch (DHOS) 가 InP/InGaAsP 물질로 구현되었는데, 이 구조는 n-형의 얇은 박막층을 이용하였다. 하지만 이 구조에서는 가운데 층에서 완전 공핍을 이루는 것이 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 역방향 전압 펄스를 인가 시 가운데 층에 완전 공핍을 이룰 수 있는 구조를 제안하고, 이를 이용하여 Vertical - injection depleted optical thyristor laser diode (VIDOT-LD)를 제작하여 측정 분석하였다.^[2,3] 이는 광 CDMA 나 광 ATM 시스템에 있어서 광 파장 변환기, 고속의 하드리미터 혹은 광 패킷 스위칭 소자 등 다양한 분야에 응용할 수 있다.^[4,5]

VIDOT-LD는 도파로 형 DOT에 수직으로 입력 창을 구성하여 입출력 사이의 잡음을 차단하고, 입력빛의 파장 의존성을 향상 시키는 등 도파로 형 DOT에서 발생할 수 있는 문제점을 개선할 수 있는 구조이다. 제작한 소자의 구조는 다음과 같다. N+-InP layer (500 nm, $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$), P-InP layer (300 nm, $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$), 6층의 양자우물 p-InGaAs layer (7 nm, $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) with barrier p-1.25Q layer (10 nm, $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$), 도핑 되지 않은 단일 양자우물 InGaAs layer (6 nm) with barrier 1.25Q undoped layer (10 nm), 6층의 양자우물 n-InGaAs layer (7 nm, $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) with barrier n-1.25Q layer (10 nm, $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$), N-InP layer (300 nm, $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$), P+-InP layer (500 nm, $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$), P+-InGaAs contact layer (100 nm, $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$). 발광 효율을 증대시키기 위하여 6층의 양자우물을 활성층에 삽입하였고, 보다 낮은 전압에서 완전 공핍을 형성하기 위하여 가능한 활성영역을 작게 하였다. 하지만, 너무 작은 활성영역은 비선형 곡선의 스위칭 전압을 낮추는 역할을 한다. 따라서 유한 차분 방법을 이용한 모의실험으로부터 활성층의 최적화된 두께와 도핑농도를 구하였다.[6] 그림1은 VIDOT-LD의 개요도이다. VIDOT-LD는 광출력을 위한 도파로형 구조에 광입력을 위한 도파로의 수직

방향에 5x5 m² 의 입력창으로 구성되어있다. 입력창은 1.55 m 에서 반사를 최소화하기 위하여 단일층의 SiN_x를 PECVD를 이용하여 성장하였다. 그림 2는 측정된 비선형 S-자형을 갖는 전류-전압 특성곡선을 나타낸다. 입력되는 빛의 크기가 20 W 까지 증가됨에 따라 비선형 곡선의 스위칭 전압이 3.36 V에서 1.37 V까지 작아지는 것을 볼 수 있다. 이는 광 스위칭 소자로서 동작할 수 있음을 나타낸다. 그림 3은 상온에서 도파로의 길이가 450 m 인 VIDOT-LD의 광출력 특성을 나타낸다. 비록 문턱전압(131mA)은 매우 크지만, 이는 InP 구조에서 입력창을 내는 구조로서는 최초로 레이징 발진을 구현 한 것이다. 또한, 소자 구조의 최적화 작업과 보다 깊은 에칭, 재성장 그리고 HR-코팅과 같은 작업을 통하여 20mA 이하로 줄일 수 있다. 그림 4는 문턱전압의 1.22배(160mA)에서 동작하는 광출력의 파장특성을 나타낸다. 최대 피크 파장은 1.578 m 이고, 파장 사이의 간격은 0.76 nm이다.

본 논문에서는 최초로 VIDOT-LD의 구조에서 레이징 발진을 구현 하였으며, 비선형 곡선의 S-자형을 나타내었다. 본 소자는 비록 다중모드를 나타내지만 DFB 혹은 DBR구조를 이용하여 충분히 단일모드를 갖는 VIDOT-LD를 구현할 수 있는 가능성을 제시하였다.^[7] 이는 광 CDMA 혹은 광 ATM 시스템에서 파장변환기나 광 하드리미터와 같은 다양한 분야에 적용할 수 있는 가능성을 보여준다.

References

[1] J. H. Swoger, C. Qiu, J. G. Simmons, D. A. Thompson, F. Shepherd, D. Beckett, and M. Cleroux, *IEEE Photon. Tech. Lett.*, **6**, 927-929 (1994).
 [2] D.G.Kim, H.H.Lee, W.K.Choi, Y.W.Choi, S.Lee., D.H.Woo, Y.T.Byun, J.H.Kim, S.H.Kim, Y.Nakano, *Appl. Phys. Lett.*, **82**, 2, 158-160 (2003).
 [3] P. Heremans, M. Kuijk, R. Vounckx, and G. Eorghs, *Appl. Phys. Lett.*, **65**, 19-21 (1994).
 [4] K. Nonaka and T. Kurokawa, *Electronics Lett.*, **31**, 1865-1866 (1995).
 [5] J. O'Gorman and A. F. J. Levi, *Electron. Lett.* **26**, 1784 (1990).
 [6] J.J.Lee, D.G.Kim, J.K.Choi, Y.W.Choi, S.Y.Han, S.Lee, S.H. Kim, Y.Nakano, and N.Futakuchi, *in Proc. SPIE*, **3944**, 926(2000).
 [7] K. Kondo, H. Nobuhara, S. Yamakoshi, and K. Wakao, *Photonic Switching 2*, 233-236 (Springer, Berlin, 1990).

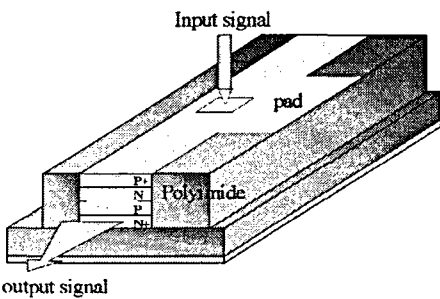


그림 1 VIDOT-LD의 개요도.

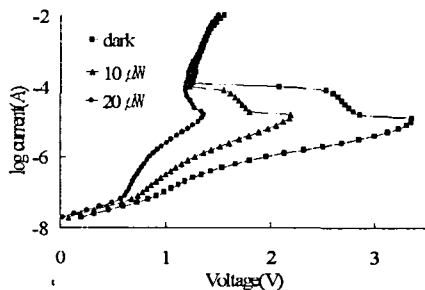


그림 2 MQW VIDOT-LD의 비선형 전류-전압 특성 곡선.

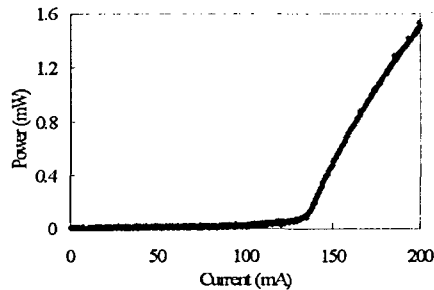


그림 3 125 mA 에서의 Light - current 특성곡선.

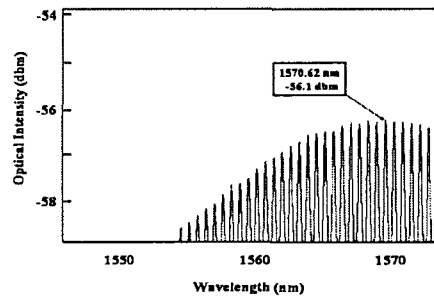


Fig. 4 문턱전압의 1.22배에서의 출력 파장