

## 광 편향기 집적 레이저 다이오드의 제작 및 광의 편향

김강호<sup>†</sup> · 권오기 · 김종희 · 김현수 · 심은덕 · 오광룡

한국 전자통신 연구원 반도체 원천기술연구소 광통신소자 연구부  
Ⓣ 305-350 대전광역시 유성구 가정동 161번지

김석원

울산대학교 자연과학대학 물리학과  
Ⓣ 680-749 울산광역시 남구 무거동 산 29번지

(2003년 12월 4일 받음, 2004년 3월 12일 수정본 받음)

광 편향기가 집적된 레이저 다이오드를 제작하고 편향기 주입전류에 따른 레이저 다이오드의 특성 변화 및 출력광의 편향을 조사하였다. 레이저 다이오드와 집적된 수동 도파로의 상부 클래드 층의 일부분에 광 편향기를 집적하고, 편향기의 전류 주입에 따른 굴절률 변화를 유도하여 출력광의 편향이 발생하도록 하였다. 편향기의 전류 주입에 따른 출력광의 특성변화를 조사하기 위하여 편향기 주입 전류에 따른 레이저 다이오드의 문턱 전류(threshold current), 발진 효율(slope efficiency) 및 출력광 스펙트럼을 측정하였다. 측정 결과, 편향기 전류의 증가에 따라 출력광의 문턱 전류는 증가하고, 발진 효율은 감소하는 경향을 나타내었으나 출력광의 스펙트럼에는 영향을 주지 않는 특성을 나타내었다. 또한, 이론적 계산을 통해 광 편향기를 지나는 광이 편향됨을 확인하고, 편향기 집적 레이저 다이오드에서 출력되는 광의 far-field pattern을 측정하여 편향기 주입 전류에 따른 출력광의 편향을 실험적으로 확인하였다. 제작된 광 편향기 집적 레이저 다이오드에서 15 mA의 광 편향기 주입 전류 변화에 대해서 1.9°의 편향각 변화를 측정 할 수 있었다.

주제어 : Light deflector, laser diode, light deflection.

### I. 서 론

광의 진행 방향을 편향시키는 광 편향기는 파장 가변레이저<sup>[1]</sup>, 초단 펄스 생성<sup>[2]</sup>, 스위치<sup>[3]</sup>, 광 데이터 저장<sup>[4]</sup>, 디스플레이<sup>[5]</sup> 등의 많은 영역에 걸쳐서 그 응용 가능성을 인정받아 왔다. 이러한 광 편향기를 제작하기 위하여 음향 광학 효과<sup>[6]</sup>, 열 광학 효과<sup>[7]</sup>, 전기 광학 효과<sup>[8]</sup> 등 많은 효과들이 이용되었으며 폴리머<sup>[9]</sup>, 반도체<sup>[10]</sup>, 액정<sup>[11]</sup> 등 많은 물질들이 연구의 대상이 되었다.

기존의 광 편향기 구현 방법들에 있어서, 음향 광학 효과를 이용한 광 편향기의 경우, 높은 제작 단가, 복잡한 구성, 낮은 신뢰도 등의 문제점을 가지며, 전기 광학 효과를 이용한 소자의 경우, 빠른 속도를 가지는 장점이 있으나 높은 동작 전압을 요구한다는 문제점이 있다. 이에 비해 열 광학 효과를 이용한 광 편향기의 경우, 넓은 편향각을 가지며 상대적으로 낮은 동작 전압을 가지는 장점이 있으나 기본적으로 느린 동작 속도 특성을 가진다. 또한, 기존에 제안된 광 편향기들은 광 통신용 광원과의 집적이 용이하지 않다는 문제점을 가지고 있다. 이미 제안된 반도체 광 편향기의 경우<sup>[10]</sup>, 편향기를 동작시키기 위한 동작 전류가 높은 반면 아주 낮은 편향각의 변화를 보이고 있어 그 효율이 상당히 낮은 것으로 알려져 있다.

본 논문에서는 광 통신용 광원과 집적이 용이하고 낮은 동

작 전류에서 높은 편향각 변화를 나타내는 도파로형 광 편향기를 제안하고, 이를 반도체 레이저와 집적한 광 편향기 집적 레이저 다이오드를 제작하고 그 특성에 관하여 정리한 것으로서 다음과 같은 구성을 가진다. 2절에서는 소자의 동작에 대한 개념과 Beam Propagation Method(BPM)를 이용한 광 편향 특성의 계산 결과를 나타낸다. 3절에서는 소자의 제작과정을, 4절에서는 소자의 특성을 측정한 결과를 설명하며 마지막으로 5절에서 결론을 맺도록 한다.

### II. 소자 개념 및 계산

그림 1은 제안된 광 편향기 집적 레이저 다이오드의 개념도를 보이고 있다.

광 편향기에 전류가 주입되면 이로 인해서 광 편향기가 집적되어 있는 부분의 굴절률에 변화가 발생하게 된다.<sup>[12]</sup> 이러한 굴절률의 변화는 광 편향기가 집적된 수동 도파로 부분의 유효 굴절률 변화를 유도하고 결과적으로 광 편향기가 집적되지 않은 수동 도파로 부분과 유효 굴절률의 차이를 유도하게 된다. 이 유효 굴절률의 차이로 인해 레이저 다이오드로부터 발생되어 도파로를 따라 진행되는 광은 수동 도파로와 광 편향기가 집적된 도파로 경계면에서 스넬의 법칙에 의한 편향이 발생하게 된다. 이와 같은 광의 편향은 광 편향기가 집적된 수동 도파로 영역의 굴절률 변화가 클수록 증가하므로 광 편향기에 주입되는 전류가 증가하면 편향각의 변화가

<sup>†</sup>E-mail: kkh63261@etri.re.kr

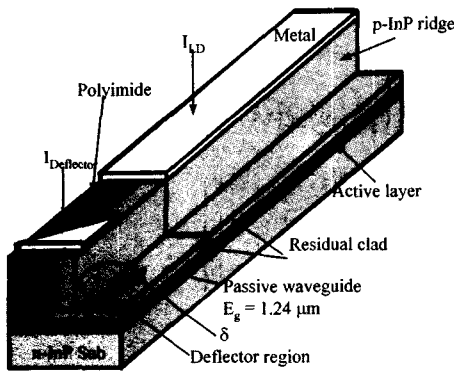


Fig 1. Schematic of deflector integrated LD.

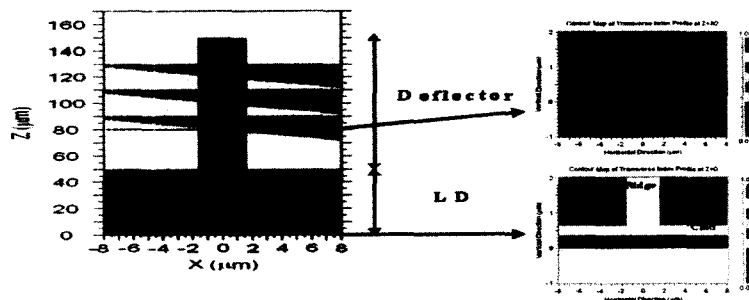
커짐을 알 수 있다. 즉, 출력되는 광의 편향각은 편향기 주입 전류의 변화에 의존함을 알 수 있다. 광 편향기의 유효 굴절률 변화에 따른 출력광의 편향각  $\theta_{def}$  는 다음과 같은 식으로 쓸 수 있다.

$$\theta_{def} \approx n_{def} \left[ \sin^{-1} \left( \frac{n_{wg}}{n_{def}} \sin \theta \right) - \delta \right] \quad (1)$$

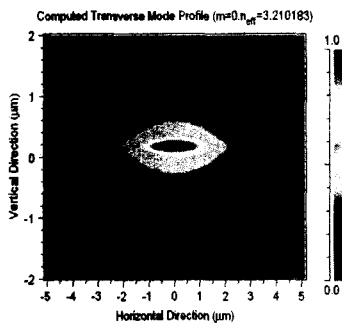
여기서  $\theta$ 는 편향기로 입사하는 광의 입사각,  $n_{wg}$ 는 수동 도파로의 유효 굴절률,  $n_{def}$ 는 광 편향기가 집적된 수동 도파로의 유효 굴절률, 그리고  $\delta$ 는 삼각형 모양의 광 편향기의 꼭지각으로 본 논문에서는  $45^\circ$ 로 설정하였다.

제안된 소자에 대하여 진행하는 광의 편향을 알아보기 위하여 Beam Propagation Method(BPM)를 이용한 계산을 하였

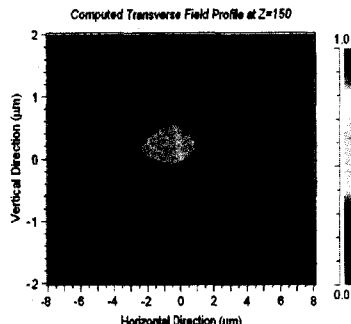
으며, RSoft사의 BeamProp 프로그램을 이용하여 계산을 수행하였다. 계산을 수행하기 위한 광 편향기가 집적된 레이저 다이오드의 구조는 다음과 같다. 리지의 폭은  $3 \mu\text{m}$ , 높이는  $1.35 \mu\text{m}$ , 레이저 다이오드의 영역과 수동 도파로 영역의 상부 클래드는  $0.3 \mu\text{m}$ , 레이저 다이오드 영역의 길이는  $50 \mu\text{m}$ , 그리고 수동 도파로 영역의 길이는  $100 \mu\text{m}$ 로 하였다. 계산에 사용되어진 광 편향기는 삼각형 모양으로 크기가  $20 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$ 이었으며 3개의 광 편향기가 집적된 구조를 이용하였다. 수동 도파로의 코어 부분과 광 편향기가 집적된 수동 도파로의 코어 부분의 굴절률 차이는 0.05로 설정하였으며 Transparent Boundary Condition을 이용하였다. 그림 2(a)는 계산에 이용된 편향기 집적 레이저 다이오드의 구조를 나타내는 것으로 소자의 길이 방향에 대해서  $0 \mu\text{m}$ 인 지점과  $80 \mu\text{m}$ 인 지점에서의 단면 구조를 나타내었다. 편향기를 지나는 광의 편향을 알아보기 위하여 계산에 사용되어진 구조의 도파로에 대해서 일차 모드를 구한 후 이 일차 모드를 도파로를 통해 진행시켜 끝 단면( $z=150 \mu\text{m}$ )에서 광의 편향 정도를 살펴 보았다. 그림 2(b)는 제안된 구조의 도파로에 있어서 입력되는 광의 일차 모드를 나타내며, 그림 2(c)는 입력된 광이 편향기를 지난후의 출력면에서의 광 분포를 나타내는 그림이다. 그림 2(b)와 2(c)를 비교해 보면, 광 편향기에 의해서 출력광의 편향이 발생하였음을 알 수 있다. 이와 같은 출력면에서의 광 편향은 결과적으로 출력광 far-field pattern의 편향을 유도하게 된다. 그림 2(d)는 그림 2(c)의 출력면에서의 광의 far-field pattern을 나타내는 그림으로 중심축이 편향되어 있는 것을 알 수 있다. 계산으로 얻어진 출력 광의 반치폭



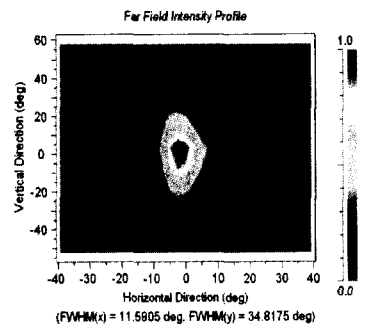
(a) Simulation structure



(b) 1st order optical beam distribution at input facet



(c) optical field distribution at output facet



(d) Far-field pattern of output beam

Fig 2. Structure for BPM simulation and simulation results.

(Full Width at Half Maximum, FWHM)은  $11.5^\circ$ 이었다.

### III. 소자 제작

제안된 광 편향기 집적 레이저 다이오드는 3번의 금속-유기 화학 기상 증착법(Metal-Organic Chemical Vapor Deposition, MOCVD)을 이용한 결정의 성장과 3번의 반응성 이온 식각(Reactive Ion Etching, RIE)을 통해 제작한다. 우선, 도핑 되지 않은 InGaAsP 다중 양자 우물 활성층(두께  $0.375 \mu\text{m}$ )과 도핑 되지 않은 InP 상부 클래드 층(두께  $0.3 \mu\text{m}$ )을 n형의 InP 기판에 성장 시킨다. 성장된 기판에  $\text{SiN}_x$ 를 증착하여 레이저의 영역에 해당하는 부분을 리소그래피 방법으로 선택적으로 형성 시킨 후, 활성층과 상부 클래드 층을 RIE 장치를 이용해 식각을 한다. 식각이 된 시료에 수동 도파로(두께  $0.4 \mu\text{m}$ ,  $\lambda_g=1.24 \mu\text{m}$ )와 상부 클래드(두께  $0.3 \mu\text{m}$ )층을 butt-joint 방법으로 성장하였다. 성장 후  $\text{SiN}_x$  박막을 제거하고 편향기 형성을 위한 새로운  $\text{SiN}_x$  박막을 증착한다. 삼각형 모양의 광 편향기를 수동 도파로의 상층부 영역에 리소그래피 방법으로 선택적으로 형성 시킨 후, RIE를 이용하여 편향기 부분을 식각한다. 사용되어진  $\text{SiN}_x$  박막을 제거한 후 3차 성장을 하여 리지를 형성 하는 p-InP 클래드(두께  $1.5 \mu\text{m}$ )와 p+-InGaAs(두께  $0.3 \mu\text{m}$ )를 성장 한다. 3차 성장 후  $\text{SiN}_x$  박막을 시료의 표면에 증착하고 리소그래피 방법으로  $3 \mu\text{m}$ 의 폭을 가지는 리지 패턴을 형성하고 RIE를 이용하여 리지를 식각한다. 전류를 주입하기 위한 패드 부분과 리지의 원활한 전극 형성을 위하여 polyimide를 이용하여 리지의 단차 부분을 채우고 image reversal 방법을 이용한 리소그래피 방법으로 p-영역의 전극 형성 영역을 만든 후 전극(Ti/Pt/Au)을 전자 빔 증착(e-beam evaporation) 방법으로 증착시킨다. 열처리를 한 후 시료는  $100 \mu\text{m}$ 의 두께로 lapping을 한 후, 뒷면에 n-영역의 전극(Cr/Au)을 형성하여 소자제작을 완료한다. 제작된 레이저 다이오드의 길이는  $500 \mu\text{m}$ , 레이저 다이오드에 집적된 수동 도파로의 길이는  $100 \mu\text{m}$ , 삼각형 모양의 광 편향기는 3 개를 형성하였으며 크기는 가로, 세로가 각각  $20 \mu\text{m}$ 이었다.

### IV. 측 정

그림 3은 제작된 소자의 단면과 광 편향기가 집적된 레이저 다이오드의 윗면을 보여주는 SEM 사진이다. 그림 3(a)에서 제작된 소자의 폭은  $3 \mu\text{m}$ 이고 높이는  $1.7 \mu\text{m}$ 임을 알 수 있다. 그림 3(b)에서는 전극 패턴 아래로 광 편향기의 모양을 볼 수 있다.

광 편향기의 전류 주입에 따른 레이저 다이오드의 동작 특성을 알아보기 위하여 편향기 주입 전류에 따른 레이저 다이오드의 전류-광 특성과 출력광의 스펙트럼을 편향기 주입 전류의 변화에 대해서 살펴보았다. 그림 4의 (a)와 (b)는 각각 0 mA와 10 mA의 편향기 주입 전류에 대해서 전류-광 특성과 각각의 발진 효율을 나타낸 그림이다. 그림 4에서 편향기 주

입 전류가 증가함에 따라 출력되는 광의 세기와 발진 효율이 약간 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 레이저 다이오드의 문턱 전류가 약간 증가하는 것을 알 수 있는데, 이러한 특성의 변화는 편향기 주입 전류의 증가에 따른 손실 증가에 의한 것으로 해석할 수 있다.<sup>[13]</sup> 그림 4의 (a)와 (b)의 삽입 그림은

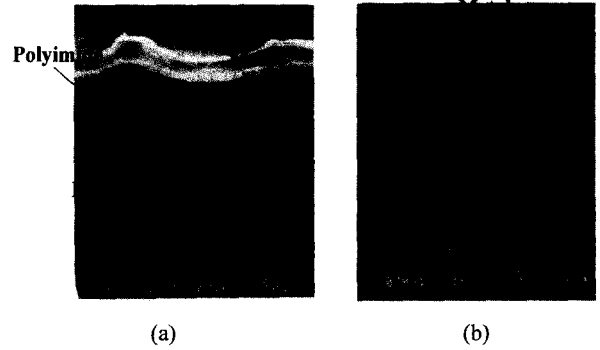


Fig 3. SEM image of fabricated device. (a) Structure of fabricated LD and (b) Surface of fabricated device.

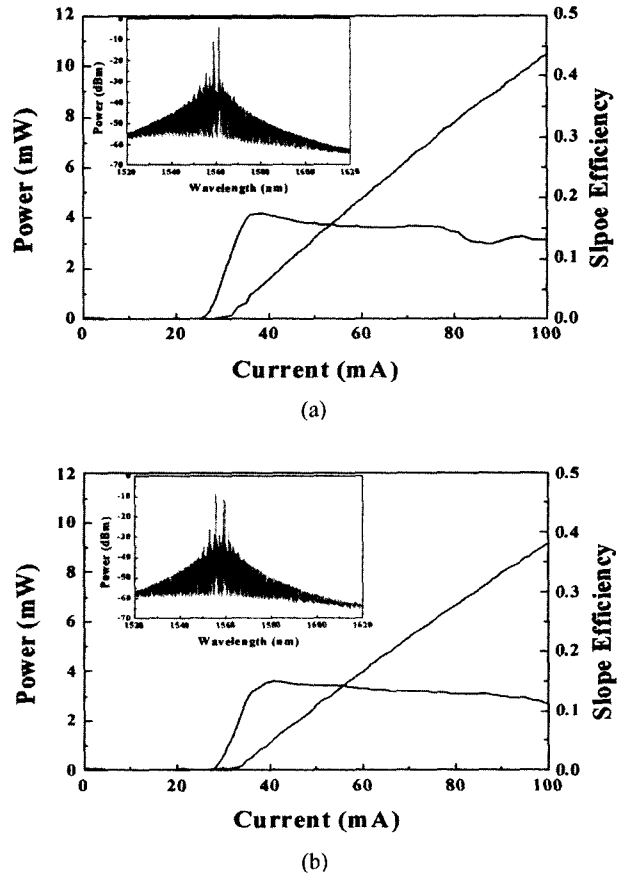


Fig 4. Light versus current and slope efficiency of fabricated device as a function of deflector injection current. (a) L-I and slope efficiency of device at 0 mA deflector injection current, (b) L-I and slope efficiency of device at 10 mA deflector injection current.

각각의 경우에 대한 스펙트럼을 나타낸 것으로, 편향기 주입 전류가 출력광의 스펙트럼 특성에는 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 편향기 주입 전류에 따른 레이저 다이오드의 문턱전류와 발진 효율을 그림 5에 나타내었다. 그림 5에 의하면 편향기 주입전류 증가에 따라 문턱전류는 증가하고 발진 효율은 감소함을 확인할 수 있다. 그림에서 15 mA의 편향기 주입 전류 변화에 대해서 문턱 전류는 6 mA가 증가했으며 발진 효율은 약 3% 정도가 감소했음을 알 수 있다.

편향기 주입 전류의 변화에 따른 출력광의 편향 특성을 알아보기 위하여 출력되는 광의 편향기 주입 전류에 따른 far-field pattern을 측정하였다. 출력광의 편향을 측정하기 위해서 레이저 다이오드에 주입되는 전류의 양은 70 mA로 고정하였다. 출력광의 편향은 편향기 주입 전류에 따른 출력광의 far-field pattern을 측정하여 출력되는 광의 최고점(peak point)의 이동으로부터 구하였다. 이 때 출력되는 광의 far-field pattern은 편향기 주입 전류에 따라 편향됨을 확인할 수 있었다. 그림 6(a)는 0 mA와 10 mA의 편향기 주입 전류에 대한 far-field pattern을 나타낸 그림이다. 그림에서 출력광의 far-field pattern은 편향기 주입전류에 관계없이 단일모드로 출력됨을 알 수 있다. 출력되는 광의 반치폭은 10°이며 이것은 계산에 의한 결과인 11.5°와 비교적 잘 일치하는 결과이다. 10 mA의 편향기 주입 전류에 대해서 0 mA의 편향기 주입 전류에 비해 1.89°의 편향각 변이를 얻을 수 있었다. 그림 6(b)는 편향기 주입 전류의 변화에 따른 출력광 far-field의 편향각을 편향기 주입전류에 대하여 나타낸 그래프이다. 편향기 주입 전류가 0 mA에서 15 mA로 증가하는 동안 1.9°의 편향각 변이를 얻을 수 있었으며 전류 주입에 따른 편향각 변이는 선형적인 형태를 가지지 않음을 알 수 있는데, 이것은 다음과 같이 설명할 수 있다.

이중 헤테로 접합 구조에 대한 확산 방정식에서 주입 전류에 대한 반응자 밀도는 다음과 같은 형태로 쓸 수 있다.<sup>[14]</sup>

$$I = qV(AN + BN^2 + CN^3) \quad (2)$$

여기서, A, B, 그리고 C는 각각 non-radiative, bimolecular, 그리고 Auger recombination을 나타내는 계수들이고, q는 전하량, V는 전류가 주입되는 영역의 부피를 나타낸다. 주입된 반응자 밀도에 대한 굴절률의 변화  $\Delta n(N)$ 은 과 같이 선형적인 관계로 표현 할 수 있으므로  $\Delta n = Const \cdot N^{[15]}$  주입 전류에 대한 굴절률의 변화는 비선형적인 관계를 가짐을 알 수 있다. 즉, 주입 전류에 대해서 출력광의 편향은 비선형적인 관계를 가짐을 알 수 있다.

### V. 결 론

파장 가변레이저, 초단 펄스 생성, 스위치 등의 응용가능성이 있는 광 편향기를 레이저 다이오드와 단일 집적하여 편향기 주입 전류에 따른 출력광의 특성 변화와 편향을 측정하였다. 편향기 집적에 따른 레이저 다이오드의 특성을 살펴보기

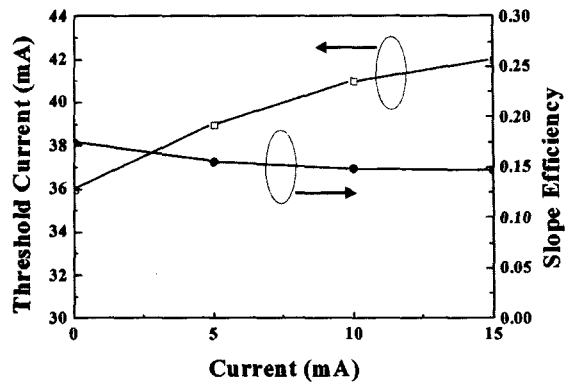
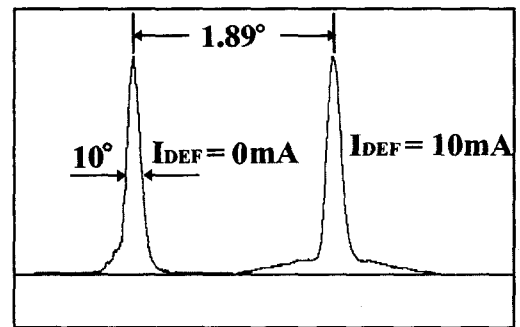
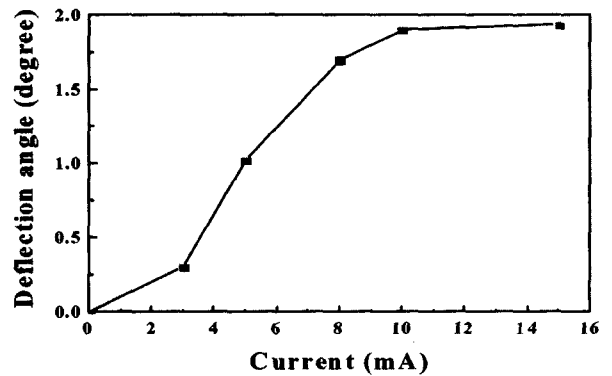


Fig 5. Variation of threshold current and slope efficiency as a function of deflector injection current.



(a)



(b)

Fig 6. Light deflection of fabricated device as a function of deflector injection current. (a) Far-field pattern of output beam at 0mA and 10mA deflector injection current, (b) Far-field deflection graph as a function of deflector injection current

위하여 레이저 다이오드의 문턱 전류, 발진 효율, 및 출력광의 스펙트럼을 편향기의 주입 전류 변화에 따라 측정하여 편향기의 집적이 레이저 다이오드에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 또한, 편향기 굴절률 변화에 의한 출력광의 편향을 BPM 계산을 통해 확인하였으며, 제작된 소자를 이용하여 편향기의 주입 전류를 변화시켜 가며 출력광의 far-field

pattern을 측정하여, 편향기 주입 전류의 변화에 따라 출력되는 광이 편향됨을 확인할 수 있었다. 편향기 주입 전류에 따른 출력광의 far-field pattern 측정 결과로부터 15 mA의 편향기 주입 전류에 대해서 1.9°의 편향각 변화를 얻을 수 있었다. 본 논문에서 제안한 구조의 레이저에서 집적되는 편향기의 개수를 증가시킴으로 출력광의 편향각을 증가시킬 수 있을 것으로 생각되어진다.

본 논문에서 제안된 편향기 집적 레이저 구조를 이용하면 낮은 동작 전류에 대해서 높은 편향각을 얻을 수 있으며, 파장 가변 레이저, 스위치, 광 펄스 생성용 광원으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고문헌

- [1] Joanna L. Casson, Li Wang, Nathaniel J. C. Libatique, Ravinder K. Jain, David A. Scrymgeour, Venkatraman Gopalan, Kevin T. Gahagan, Robert K. Sander, and Jeanne M. Robinson, "Near-IR tunable laser with an integrated LiTaO<sub>3</sub> electro-optic deflector," *Appl. Opt.*, vol. 41, no. 30, pp. 6416-6419, 2002.
- [2] Jan Badziak and Slawomir Jablonski, "Ultrashort-pulse generation in excimer lasers by fast mode locking using electrooptic deflector," *IEEE J. Quantum. Electron.*, vol. 33, no. 3, pp. 490-499, 1997.
- [3] H. Okayama, and M. Kawahara, "Experiment on deflector-selector optical switch matrix," *Electron. Lett.*, vol. 28, no. 7, pp. 638-639, 1992.
- [4] J. J. Drolet, E. Chuang, G. Barbastathis, and D. Psaltis, "Compact, integrated dynamic holographic memory with refreshed holograms," *Opt. Lett.*, vol. 22, no. 8, pp. 552-554, 1997.
- [5] D. Faklis and G. M. Morris, "Diffractive optics technology for display applications," in *Projection Displays*, M. H. Wu, ed., Proc. SPIE 2407, pp. 57-61, 1995.
- [6] C. C. Speake and M. Lawrence, "Dynamical precision angle measurement with an acousto-optic beam deflector," *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 5, no. 8, pp. 1254-1257, 1988.
- [7] S. Tang, B. Li, X. Han., J. M. Taboada, C. -H. Jang, J. -H. Kim, L. Sun., and R. T. Chen, "An integrated thin-film thermo-optic waveguide beam deflector," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 76, no. 16, pp. 2289-2292, 2000.
- [8] J. Li, H. C. Cheng, M. J. Kawas, D. N. Lambeth, T. E. Schlesinger, and D. D. Stancil, "Electrooptic wafer beam deflector in LiTaO<sub>3</sub>," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 8, no. 11, pp. 1486-1488, 1996.
- [9] Chiou-Hung Jang, Lin Sun, Jin-Ha Kim, Xuejun Lu, Gauri Karve, Ray T. Chen, and Jeffery J. Maki, "A thin-film polymeric waveguide beam deflector based on thermooptic effect," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 13, no. 5, pp. 490-492, 2001.
- [10] Hisao Nagata, Nobuyuki Komaba, and Ken Yamashita, "AlGaAs grating surface-emitting beam deflector with ridge structure," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 3, no. 3, pp. 222-224, 1991.
- [11] Xu Wang, Daniel Wilson, Richard Muller, Paul Maker, and Demetri Psaltis, "Liquid-crystal blazed-grating beam deflector," *Appl. Opt.*, vol. 39, no. 35, pp. 6545-6555, 2000.
- [12] B. R. Bennett, A. S. Richard, and J. A. Del Alamo, "Carrier-induced change in refractive index of InP, GaAs, and InGaAsP," *IEEE J. Quantum. Electron.*, vol. 26, no. 1, pp. 113-122, 1990.
- [13] P. Brosson, C. Labourie, L. Le Gouezigou, J. L. Lievin, J. Jacquet, F. Leblond, A. Olivier, and D. Leclerc, "Experimental determination of carrier-induced differential loss in 2-section GaInAsP/InP laser-waveguide," *Electron. Lett.*, vol. 25, no. 24, pp. 1623-1624, 1989.
- [14] G. Schraud, G. Müller, L. Stoll, and U. Wolff, "Simple measurement of carrier induced refractive-index change in InGaAsP pin ridge waveguide structures," *Electron. Lett.*, vol. 27, no. 4, pp. 297-298, 1991.
- [15] J. M. Liu, Y. C. Chen, and M. Newkirk, "Carrier-induced phase shift and absorption in a semiconductor laser waveguide under current injection," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 50, no. 15, pp. 947-949, 1987.

## Fabrication of deflector integrated laser diodes and light deflection

K. H. Kim,<sup>†</sup> O. K. Kwon, J. H. Kim, H. S. Kim, E. D. Sim, and K. R. Oh

*Optical Communication Devices Department, ETRI  
161, Gajeong-dong, Yuseong-Gu, Daejeon, 305-350, KOREA*

<sup>†</sup> E-mail: kkh63261@etri.re.kr

S. W. Kim

*Department of Physics, University of Ulsan  
San 29, Mooger 2-dong, Namgu, Ulsan, 680-749, KOREA*

(Received December 4, 2003, Revised manuscript March 12, 2004)

A light deflector integrated laser diode(LD) was fabricated and the characteristics of LD and ourput beam deflection as a function of deflector injection current were measured. To integrate the deflector with LD, a passive waveguide was integrated with the LD and a triangular-type light deflector was fabricated on the upper clad of the passive waveguide section. Light deflection from the fabricated light deflector is controlled by the effective refractive index variation induced by carrier injection. To characterize the effect of the deflector injection current, threshold current, slope efficiency, and output beam spectrum were measured as a function of deflector injection current. From these measured data, the increment in the threshold current and the decrement of the slope efficiency were observed. However, the output beam spectrum was not affected by the deflector. The Beam Propagation Method(BPM) was used to simulate the proposed device and the light deflection was measured by the far-field pattern of the output beam as a function of the deflector injection current. In the fabricated deflector integrated LD, the deflection angle of 1.9° at the injection current of 15 mA was obtained.

OCIS Code : 250.0250.