

광센서용 반도체레이저의 제작 및 적용

김정호* · 안세경* · 김동원* · 조희재* · 배정철** · 홍창희*

*한국해양대학교 전자/정보통신공학부, **(주)사라콤

The fabrication and application of semiconductor laser diode for optical sensor

Jeong-ho Kim* · Se-kyung An* · Dong-won Kim* · Hee-jea Cho*

· Jung-chul Bae** · Tchang-hee Hong*

*Korea Maritime University Division of Radio and Information

Communication Engineering, **Saracom Co. Ltd.

E-mail : kgosan@hanmail.net

요약

본 논문에서는 광센서용 광원에 적합한 $1.55\mu\text{m}$ 파장대의 InGaAsP/InP 반도체레이저를 제작하였다. 레이징을 억제시켜주기 위해서 bending type의 소자를 설계 및 제작하였으며, 제작된 소자의 출력은 펄스 구동전류 100mA 에서 1.6mW 이고, 스펙트럼 폭은 40nm 의 값을 가졌다. 그리고, 제작된 광원을 적용하였을 때 광섬유 자이로스코프에 파이버 종단에서의 출력은 25°C , 직류 100mA 에서 540nW 였고, 스펙트럼 폭은 53nm 였다. 그리고, 불규칙잡음 계수는 $2.5 \times 10^{-3} \text{deg}/\sqrt{\text{hr}}$ 였고, 자이로 출력 drift도 잡음수준으로 조사되었다. 따라서, 본 연구에서 제작한 광원을 광섬유 자이로 스코프에 사용 가능함을 확인하였다.

ABSTRACT

In this study, we fabricated the semiconductor laser for optical sensor with $1.55\mu\text{m}$ wavelength region. In order to suppress lasing oscillation and to reduce the reflectivity, the devices of bending type were designed and fabricated. Their output power were 1.6mW at a pulse drive current of 100mA . When the fabricated device was applied to optical fiber gyroscope, the output power of optical fiber was 540nW at a CW drive current of 100mA , the full width at half maximum spectral width was 53nm . And the random-walk coefficient was measured to be $2.5 \times 10^{-3} \text{deg}/\sqrt{\text{hr}}$, the gyro output drift was also found to be $0.3 \text{deg}/\text{hr}$. So we confirmed the possibility of application to use for light source of optical fiber gyroscope.

키워드

Superluminescent diode, optical fiber sensor, LPE, fiber optic gyroscope

1. 서론

광센서용 반도체 레이저인 고휘도 다이오드는 broadband 특성으로 하여 Rayleigh 후방산란 잡음, 편광잡음, 광섬유 시스템에서 비선형 Kerr effect 때문에 생기는 잡음 등에 대해서 민감하지 않아서 고감도 광섬유 자이로 스코프의 광원으로 적합하며[1] spectrum slicing technique에 의한 multi-wavelength light source로[2] 적용되고 있다. 고휘도 다이오드의 제작에 있어서 핵심은 거울면에서의 반사도를 낮추어 거울면의 반사에 의하여 일어나는 발진을 억제하는 것으로, 이를 위하여 단면이 각을 가진 stripe[3], 계면의 무반사 코팅(antireflection coating: AR coating)[4], window

buried heterostructure[5], unpumped absorbing region[6] 등과 같은 방법이 이용되고 있다.

본 연구에서는 window 영역을 가지며, 윈도우 영역과 활성층이 만나는 부분에서 구부림을 두어 반사도를 줄일 수 있는 구조의 소자를 설계하였으며, 파이버와의 결합 효율을 높이기 위하여 고횘출력으로 동작하는 strongly index-guide 구조로 제작하였다. 윈도우 영역에서 $3\mu\text{m}$ 의 폭으로 반경 $500\mu\text{m}$ 로 구부린 것과 반경이 각각 $400\mu\text{m}$, $500\mu\text{m}$ 로 다르게 돌으로써 윈도우 영역의 끝단에서는 $3\mu\text{m}$ 보다는 더 넓은 폭을 가지도록 하였다. 본 연구에서 설계 및 제작한 두 가지 형태의 소자를 각각 SLD-R500,

SLD-R450이라 표기하고 각각의 소자에 대한 전류 대 광출력 특성과 온도에 대한 동작특성을 기술하였다.

II. 본 론

1. 고휘도 다이오드의 설계 및 제작

그림 1은 본 연구에서 제안한 고휘도 다이오드에 대한 그림이다. 고휘도 다이오드의 구조는 활성층이 굴절률이 낮은 재료로 둘러싸여 캐리어 가둠과 광가둠이 우수한 PBH(Planar Buried Heterostructure) 형태를 가지며, SCH(Separate Confinement Heterostructure) 구조를 도입하여 광가둠계수를 크게 하여 캐리어 및 광을 효율적으로 가둠으로써 고휘도 다이오드의 출력을 크게 하도록 하였으며, 안정된 동작을 위하여 후면에 윈도우 영역을 두어 반사계수를 낮추어 발진을 억제하도록 하였으며, 여기에 추가하여 윈도우 영역에서 구부림을 주어 반사도를 낮추도록 설계하였다.

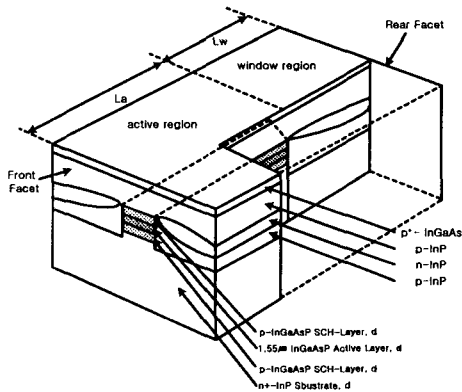


그림 1. 제작하고자 하는 고휘도 다이오드의 구조

고휘도 다이오드를 제작하기 위하여 MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 장비를 이용하여 InP 기판에 격자정합을 이룬 $1.24\mu\text{m}$ 의 발진파장을 가지는 SCH 층을 1000\AA 성장시키고, 두께 100\AA 의 InGaAsP 장벽층과 40\AA 의 InGaAs 우물층을 7층 성장시켜 발진파장이 $1.55\mu\text{m}$ 인 다중양자우물층을 성장시켰다. 그리고 설계한 구조의 마스크 패턴을 형성하여 SiNx stripe를 형성시킨 에피 웨이퍼를 제작하였다. 제작된 에피 웨이퍼에 mesa를 형성하기 위해 wet etching과 meltback을 하였다. LPE(Liquid Phase Epitaxy) 장비를 이용하여 630°C 의 성장 용액을 기준으로 $1.55\mu\text{m}$ InGaAsP 용액의 80% 포화용액으로 630°C 에서 약 10초간 meltback을 행함으로써 mesa를 형성하였고, 이로 인해 wet etching시 발생하는 웨이퍼의 손상과 고

온에 노출되어 발생하는 열손상을 제거하는 이점도 가지고 있다.[7] Meltback을 한 후 이어서 전류차단층과 윈도우 영역을 성장시켰다. 성장시 cooling rate는 $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 이었다. 재성장을 통해 제작된 웨이퍼에 남아있는 SiNx를 제거한 후 3차 성장을 통해 p-InP층과 p⁺-InGaAs층을 성장시켰다. 그림 2는 3차 재성장된 고휘도 다이오드의 front facet에 대한 SEM 단면 사진을 나타내었다.

p측 전극으로는 Ti(3000\AA)/Pt(200\AA)/Au(4000\AA)을 n측 전극으로는 Cr(500\AA)/Au(5000\AA)을 E-Beam 증착기를 사용하여 증착하였으며 400°C 에서 약 30초간 열처리를 하였다.

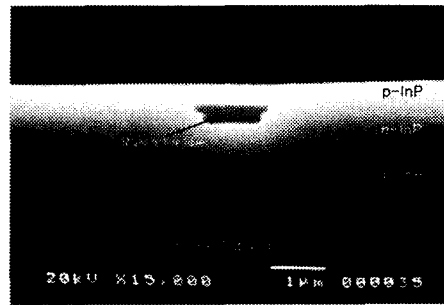


그림 2. 3차 재성장에 의해 성장된 SEM 단면 사진

SEM 단면 사진을 보면 활성층의 두께는 약 $0.2\mu\text{m}$ 이고, 고효율 동작을 위해서 본 연구에서 제작한 소자는 일반적으로 잘 알려진 strongly index-guide 구조 중에 하나인 평면 매립형 구조를 가지고 있다.

2. 고휘도 다이오드의 광학적 특성

본 연구에서 제작한 고휘도 다이오드의 성능을 평가하기 위하여 펄스 구동 및 직류 구동에 따른 전류 대 광출력 특성과 온도에 따른 스펙트럼 특성을 측정하였다.

2.1 펄스 구동시 고휘도 다이오드의 광학적 특성

제작된 고휘도 다이오드의 광학적 특성을 확인하기 위하여 전류 대 광출력 특성을 측정하였다. 전류 대 광출력 특성 측정은 활성층에서 발생하는 Joule 열의 영향을 줄이기 위하여 펄스 주기 1ms, 펄스 폭 $10\mu\text{s}$ 로 1% duty cycle인 전류펄스로 고휘도 다이오드를 구동시켰다. 그림 3은 SLD-R450의 전류 대 광출력 특성을 나타내고 있다.

그리고 SLD-R500의 전류 대 광출력 특성도 SLD-R450과 유사하게 나타났으므로 그림은 생략하였다. 또한, 그림 3에서 보는 것처럼 온도가 증가함에 따라 광출력 특성이 작아지는 것을 알 수 있다. 그림 4는 25°C 에서 SLD-R450의 전류의 증가에 따른 스펙트럼 특성을 나타내었다. 고휘도 다

이오드의 경우에는 LD에 비하여 임계전류 지점을 결정하기가 어렵다.

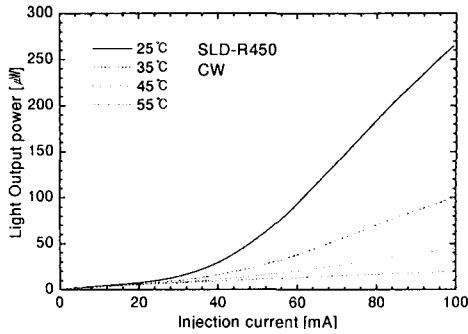


그림 3. SLD-R450의 온도에 따른 전류 대 광출력 특성

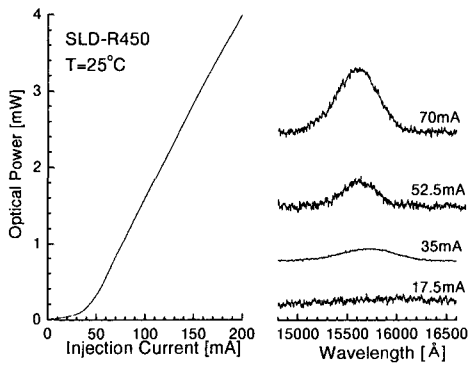


그림 4. SLD-R450의 I-L 특성 및 주입전류에 따른 스펙트럼 특성

그러나, 일반적으로 LD에 적용되는 기준을 이용하여 대략적인 임계전류 지점을 결정하였을 때 SLD-R450과 SLD-R500은 각각 35mA와 45mA의 임계전류 값을 가졌다.

그리고, 제작된 고휘도 다이오드가 광센서용 광원으로 사용하기 위해서는 외부 환경에 대한 안정된 동작 특성을 가져야 한다. 따라서, SLD의 온도에 따른 스펙트럼 특성을 측정하였다. 그림 5는 SLD-R450의 온도에 따른 스펙트럼 특성으로서 55°C에서도 스펙트럼 특성을 확인할 수 있는 136mA에서 동작시켰을 때의 온도에 따른 스펙트럼 변화를 조사하였다. 25°C에서 peak 파장은 15549Å이며 55°C에선 15635Å의 값으로서 장파장으로 이동함을 보였고, 온도에 대한 파장 변화율은 2.87Å/°C였다.

그리고 SLD-R500은 150mA의 동작전류에서 온도에 따른 스펙트럼 특성을 측정하였고, 25°C에서 15600Å의 값을 가지며, 45°C에선 15690Å이었고, 온도에 따른 파장 변화율은 4.5Å이었다.

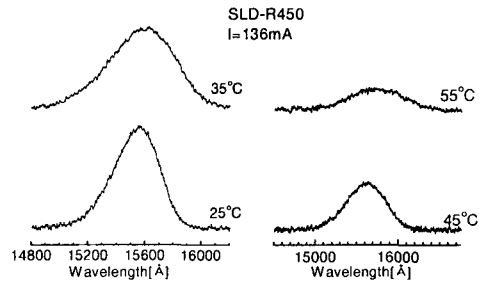


그림 5. SLD-R450의 온도에 따른 스펙트럼 특성

2.2 직류(CW)구동시 고휘도 다이오드의 광학적 특성

현재 상용화되어 있는 고휘도 다이오드가 광섬유 자이로스코프의 광원으로 사용될 때에는 직류구동으로 동작하고 있다. 따라서, 본 연구에서 제작된 고휘도 다이오드의 직류 특성을 측정하였다.

그림 6은 SLD-R450의 온도에 따른 전류 대 광출력 특성을 나타내었다. 그림 6에서 보면 25°C, 100mA(CW)에서 약 265μW의 출력을 얻었다. 그리고 SLD-R500의 경우는 동일 조건에서 275μW의 출력값을 얻었다. 그림 7과 8은 SLD-R450의 전류와 온도에 따른 스펙트럼 특성을 보여주고 있다.

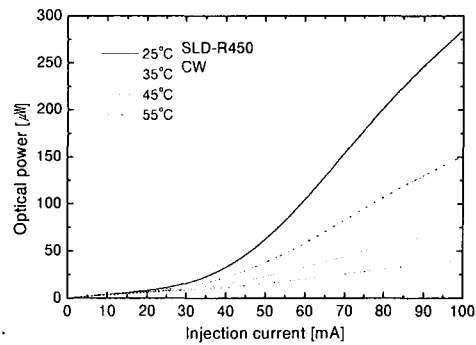


그림 6. 온도에 따른 전류 대 광출력 특성

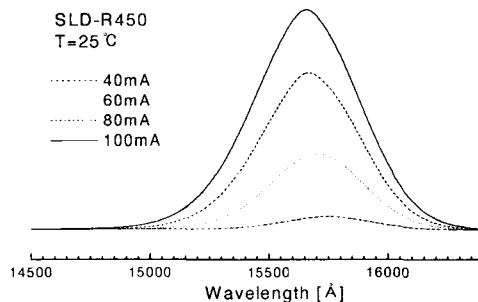


그림 7. SLD-R450의 전류에 따른 스펙트럼 특성

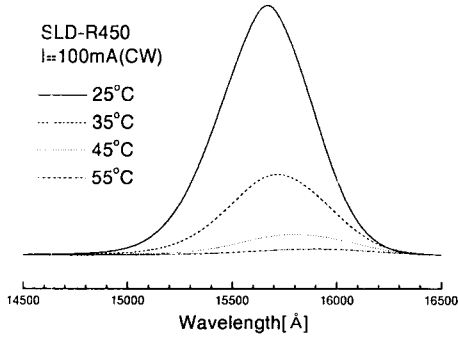


그림 8. SLD-R450의 온도에 따른 스펙트럼 특성

제작된 SLD-R450의 스펙트럼 반치 폭은 53nm였으며, SLD-R500은 56.5nm였다. 제작된 SLD-R450과 SLD-R500의 펄스 구동과 직류 구동에 대한 특성 측정 결과를 표 1에 나타내었다. 그리고, SLD-R500의 경우에는 SLD-R450과 직류 특성이 비슷하므로 그림은 생략하였다.

표 1. 제작된 SLD의 펄스 및 직류특성[T=25°C]

SLD Type		SLD-R450	SLD-R500
펄스 구동	임계전류 [mA]	35	45
	출력[mW] (I=100mA)	1.6	1.8
직류 구동	중심파장 [μm]	1.56	1.57
	출력[μW] (I=100mA)	265	275
	파장선폭 [nm]	53	56.5
	파장변화 [Å/°C]	2.87	4.5

이렇게 제작된 고휘도 다이오드를 광섬유 자이로스코프의 광원으로 적용하였을 때, 고휘도 다이오드의 출력 스펙트럼과 불규칙 잡음계수 및 자이로 출력의 drift 특성을 조사하였다. 중심파장은 1550nm이고, 파장선폭은 53nm였으며, 25°C, 직류 100mA에서 540nW의 자이로 검출광을 얻었다. 그리고 불규칙잡음 계수는 $2.5 \times 10^{-3} \text{deg}/\sqrt{\text{hr}}$ 이었으며, 자이로 출력의 drift는 긴 시간동안 측정하지는 못했지만, 한 시간 동안 관찰한 결과 출력신호의 잡음수준(0.3deg/hr)으로 관찰되었다.

고휘도 다이오드는 Erbium 첨가 광섬유 광원보다 광출력이 낮지만, 저가의 광섬유 자이로스코프의 광원으로서 적용 가능성을 알 수 있었다.

III. 결론

본 연구에서는 광센서용 광원으로 적용 범위가 넓은 고휘도 다이오드를 설계 및 제작하여 특성을 측정하였다. 제작된 SLD-R450은 레이징 현상이 나타나지 않았고, 파장선폭이 53nm의 넓은 밴드 폭 특성을 나타내었다. 또, 광섬유 자이로스코프의 광원으로 사용하였을 때, 파이버 종단 광출력이 25°C, 직류 100mA에서 540nW였고, 불규칙 잡음계수 및 자이로 출력의 drift를 조사함으로써 센서용 광원으로서의 적용 가능성을 확인하였다.

따라서, SLD를 전량 수입하여 이용하는 우리나라로서는 국산화 가능성이 높아졌고, 경제적으로 국내 산업에 도움이 될 것으로 사려된다.

감사의 글

본 연구를 수행함에 있어 전북대학교 박희갑교수님과 진영준씨의 도움이 있었기에 감사를 드립니다.

참고문헌

- [1] W. K. Burns, C. L. Chen, and P. P. Moeller, "Fiber-optic gyroscopes with broad band sources," IEEE/OSA J. Lightwave Technol. vol. LT-1, p. 98, 1983.
- [2] Takeshi YAMATOYA, Shota MORI, Fumio KOYAMA and Kenichi IGA, "High Power GaInAsP/InP Strained Quantum Well Superluminescent Diode with Tapered Active Region," Jpn. J. Appl. Phys. vol. 38, no. 9A, pp. 5121-5211, 1999.
- [3] G. A. Alphones, et al., Technical digest of Optical Fiber Conference on Integrated Optics and Optical Fiber Communication, 21, 1987.
- [4] I. P. Kaminow, G. Eisenstein, and L. W. Stulz, "Measurement of the modal reflectivity of an antireflection coating on a superluminescent diode," IEEE J. Quantum Electron. QE-19, p. 493, 1983.
- [5] KWONG. N.S.K., LAU, K.Y., BAR-CHAIM, N., URY. I., and LEE, K.J., "High power, high efficiency window buried heterostructure GaAlAs superluminescent diode with an integrated absorber," Appl. Phys. Lett, vol. 51, no. 23, pp. 1879-1881, 1987.
- [6] TIEN-PEI LEE, CHARLES A. BURRUS, JR., AND B. I. MILLER, IEEE J. Quantum Electron. QE-9, pp. 820-828, 1973.
- [7] 황상구, 오수환, 김정호, 김운섭, 김동욱, 홍창희, "Meltback을 이용한 mesa shape의 형성과 평면 매립형 반도체 레이저의 제작," 한국광학회지, vol. 10, no. 6, pp. 518-522, 1999.