

광센서 광원용 반도체 레이저의 제작에 관한 연구

김정호* · 안세경* · 황상구** · 홍창희***

*한국해양대학교 대학원, **(주)옵토 온, ***한국해양대학교 전파/정보통신공학부 교수

A study on the fabrication of semiconductor laser for optical sensor

Jeong-Ho Kim* · Se-Kyung An* · Sang-Ku Hwang** · Tchang-Hee Hong***

*Graduate school of Korea maritime University, Busan 606-791, Korea, **Opto*on Corp.

***Division of Radio and Information Communication Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-701, Korea

요 약 : 광섬유의 최저손실 파장영역인 $1.55\mu\text{m}$ 에서 고출력으로 안정하게 동작하는 광센서용 광원인 반도체 레이저를 제작하기 위하여 이론적인 해석을 수행한 후 제작하였다. 활성영역과 SCH층의 재료는 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ 를 사용하였다. 광센서용 광원으로 사용되기 위해서는 넓은 스펙트럼 폭을 가지며, 간간히 길이가 짧은 특성을 가지는 조건을 만족해야 한다. 따라서, 반도체 레이저에서 레이징을 억제시켜 줌으로써 넓은 스펙트럼 폭을 가지도록 설계를 하였고, 광섬유와 결합효율을 높일 수 있도록 tapered 형태의 스트라임 구조를 채택하여 마스크 패턴을 형성하였다. 또한, 레이징을 억제하기 위하여 후면에 원도우 영역을 두었고, 축방향으로 경사각을 두어 반사도를 낮추도록 설계 및 제작하였다. 7도와 15도의 축면 경사각을 가지는 구조와 굽은 스트라임 구조를 가지는 소자를 제작하여 특성을 측정한 결과, 광센서용 광원으로서 적용이 가능한 광출력 특성과 넓은 스펙트럼 폭을 가졌다.

핵심용어 : 광센서, 스펙트럼 폭, 광원, 파장분할다중, 광섬유 결합, 고휘도 다이오드

Abstract : Theoretical analyses have been performed to design the high power semiconductor laser for an optical sensor at $1.55\mu\text{m}$ wavelength range which is the lowest loss wavelength in optical fiber. The materials of active region and SCH were $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$. In order to use the light source of optical sensors, it has to satisfy wide spectral width and short coherence length. Therefore, in order to suppress lasing oscillation, we proposed laterally tilted PBH type with a window region. Also, tapered stripe structure was applied for high coupling efficiency into a single mode fiber. From these analyses, the devices of laterally tilted angled and bending structure were fabricated and their characteristics were measured. In the results of the measurement, the fabricated devices have sufficient output power and wide FWHM to apply to the light source of optical fiber sensors.

Key words : Optical sensor, Spectrum width, light source, WDM, fiber coupling, SLD, superluminescent diode

1. 서 론

오늘날의 정보통신망은 초고속 광통신을 실현하고 있으며, 이는 지난 30여년 간의 연구개발에 의하여 광통신 기술이 확립되었기 때문이다. 특히 메모리용으로 주로 사용되는 광원인 AlGaAs/GaAs 계($0.8\sim0.9\mu\text{m}$)와 광통신 광원으로 사용되는 InGaAsP/InP계($1.3\sim1.6\mu\text{m}$) LD는 제작기술이 거의 완벽하게 정착되었으며, 10 Gb/s에서 100 Gb/s의 초고속 광통신 시스템의 파장분할다중(WDM, Wavelength Division Multiplexing) 광통신 시스템^[1], 어븀 볼순물 첨가 광섬유 증폭기(EDFA, Erbium Doped Fiber Amplifier)^[2], 반도체 광증폭기(SOA, Semiconductor Optical Amplifier)^[3] 그리고 초고속 통신용 광원으로 DFB(Distributed Feed Back)-LD^[4]와 VCSEL(Vertical Cavity Surface Emitting

Laser)^[5]의 기술이 상용화 단계에 이르렀다.

본 논문에서 제작한 반도체 레이저에 파장 slicing 기법을 이용하여 분파한 후 반도체 광증폭기 array에 변조 및 잡음이 억제된 multi-wavelength light source의 응용에 관한 연구가 진행되고 있으며, InGaAsP/InP계를 이용한 광센서용 반도체 레이저는 광파이버 센서 중의 하나인 FOG(Fiber-Optic Gyroscope)의 광원으로도 적합한 소자이다.

본 논문에서는 광센서용 광원으로 각광을 받고 있는 반도체 레이저를 설계 및 제작하고, 특성 측정을 통하여 센서용 광원으로서의 적용가능성을 확인하였다.

2. 광섬유 센서용 반도체 레이저의 설계

본 논문에서는 레이징 현상이 일어나지 않도록 원도우 영역을 가지면서 축방향으로 경사진 SCH(Separate Confinement Heterostructure)-MQW(Multi Quantum Well) 구조를 채택하여 반사도를 낮추었다. 그리고, 광섬유와의 결합효율을 좋게

* 정희원, kgsan@hanmail.net 016-579-9181

정희원, ansk710@hanmail.net 051-404-3259

** 비희원 hsk9@dreamwiz.com 017-544-9711

종신희원 hongtch@kmaritime.ac.kr 018-574-4113

하기 위하여 tapered된 stripe을 설계하였다.

2.1 윈도우 구조에 의한 실효 반사도

본 연구에서 제작하고자 하는 반도체 레이저는 광섬유 센서용 광원으로 적합하게 하기 위하여 broadband 특성을 가지며, 가간섭 길이가 짧고, laser 잡음이 적은 특성을 가지도록 설계하였다. Broadband 특성을 나타내기 위해서는 레이징을 억제하여 층폭된 자연방출 광이 출사면을 통해서 나오도록 구조를 설계하여야 한다. 따라서, 레이징이 일어나지 않도록 하기 위하여 후면에 window 영역을 두어 빔 profile을 펴뜨려서 back reflection되어 다시 활성층으로 coupling되는 빛의 양이 감소하도록 하였고, 활성영역과 window 영역의 경계에 경사를 두어 반사되는 광의 양을 더 줄이도록 설계를 하였다. Fig. 1과 2는 각각 제작하고자 하는 반도체 레이저 구조의 단면도와 측면도를 나타내고 있다.

그리고 Fig. 3은 Fig. 2의 측면도에서 윈도우 영역에서의 필드의 반사를 보여주고 있다. 도파로에서 guided field는 실선으로 나타내었고, InP로 구성된 윈도우 영역으로 방출된다. Field는 회절로 인하여 약간의 복사각도를 가지고 전파되고, cleaved mirror에서 반사된다. 그리고 반사된 빛은 점선으로 나타내었으며 작은 양이 waveguide에 다시 결합되는 것을 나타내고 있다. 여기서 구형도파로(rectangular waveguide)에서 가이드 되는 필드를 Gaussian 빔으로 가정하면, 식 (1)과 같다.

$$E_y(u, v, 0) = E_0 \exp\left(-\frac{u^2}{2w_t^2} - \frac{v^2}{2w_t^2}\right) \quad (1)$$

여기서 E_0 는 필드의 최대 진폭이고, w_t 과 w_l 는 각각 측방향 x 와 횡방향 y 의 방향으로의 빔의 spot size이고, u 와 v 는 계면에서 각각 x 와 y 의 local axes에 대응한다. 그러므로 far field pattern은 다음 식으로 표현된다.^[6]

$$E_y(x, y, z) = \sqrt{\frac{jk}{2\pi z}} e^{-jxz} \int_{-\infty}^{\infty} E_y(u, v, 0) \cdot \exp\left[-\frac{jk}{2z} [(x-u)^2 + (y-v)^2]\right] du dv \quad (2)$$

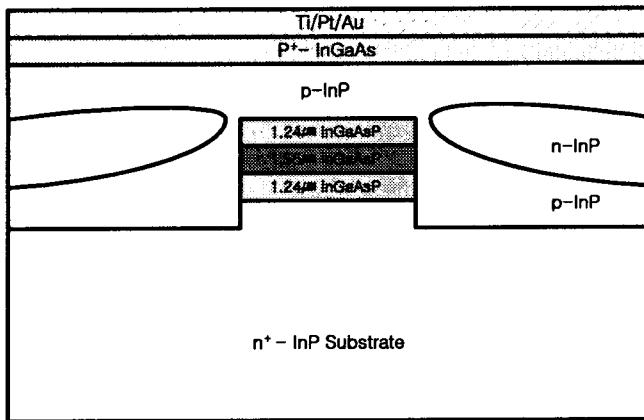


Fig. 1 Tranverse cross section of device

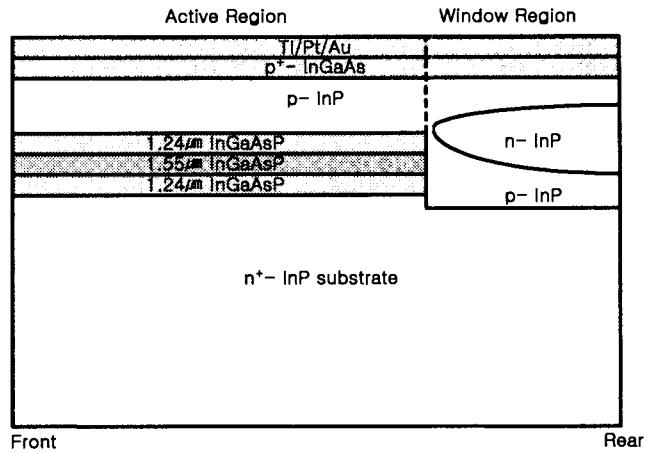


Fig. 2 Longitudinal cross section of device

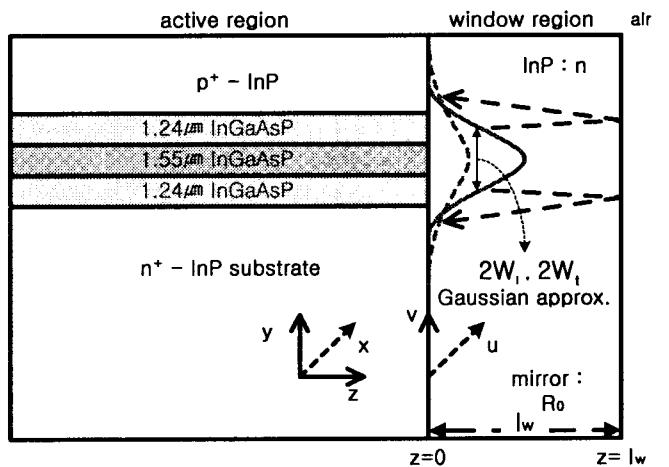


Fig. 3 Reflection in the window region

여기서 $k = 2\pi n/\lambda$ 이고, n 은 InP의 굴절률이다. 식(1)과 식 (2)를 사용하면, $z = 0$ 에서 reflected field는 다음 식으로 주어진다.

$$\begin{aligned} E_y(x, y, 0) &= \sqrt{R_0} E_y(x, y, l_w) \\ &= \sqrt{R_0} E_0 w_t w_l \sqrt{\frac{j\pi k}{l_w}} e^{-2jkl_w} \\ &\cdot \exp\left[-\frac{jk}{4l_w} (x^2 + y^2)\right] \\ &\cdot \exp\left[-\frac{k^2}{8l_w} (w_t^2 x^2 + w_t^2 y^2)\right] \end{aligned} \quad (3)$$

그리고 직사각형 구조를 가진 도파로에서의 실효 반사도는 다음 식 (4)로 주어진다.^[7]

$$R_{eff}(l_w) = R_0 \frac{\sqrt{1 + \frac{4l_w^2}{k^2 w_t^4}}}{\sqrt{(1 + \frac{4l_w^2}{k^2 w_t^4})^2 + \frac{4l_w^2}{k^2 w_t^4}}} \cdot \frac{\sqrt{1 + \frac{4l_w^2}{k^2 w_t^4}}}{\sqrt{(1 + \frac{4l_w^2}{k^2 w_t^4})^2 + \frac{4l_w^2}{k^2 w_t^4}}} \quad (4)$$

여기서 R_0 는 계면에서의 반사도를 나타내며 코팅을 하지 않았을 경우는 약 0.3에 해당한다. 이와 같은 원도우 구조에 의한 실효 반사도를 구하기 위하여 횡방향과 축방향의 빔 spot size를 구하였다.

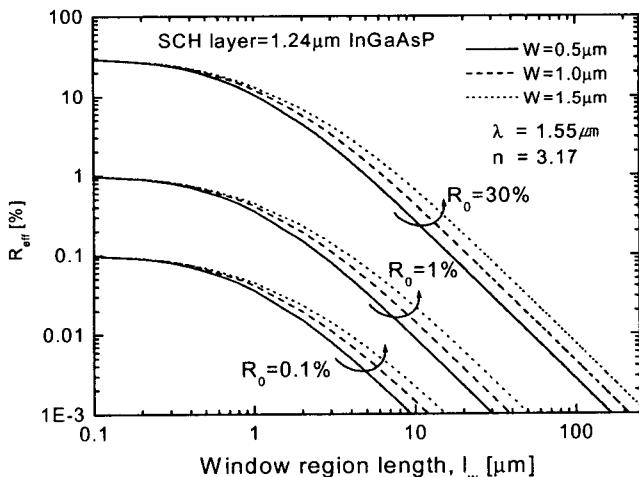
원도우 영역의 길이 l_w 에 따른 R_{eff} 의 계산결과를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 4에서 활성층의 두께는 $0.2\mu\text{m}$, SCH 층의 조성은 $1.24\mu\text{m}$ InGaAsP이고, 그 두께가 $0.08\mu\text{m}$ 인 경우에 활성층의 폭, 원도우 영역의 길이 그리고 반도체 레이저의 단면의 코팅정도(R_0)에 따른 원도우 영역의 실효 반사도를 나타내었다. 여기서, SCH 구조를 두는 것은 광가동계수를 크게 하여 광출력을 크기 하기 위함이다. Fig. 5의 경우는 SCH의 두께가 $0.12\mu\text{m}$ 인 경우의 실효 반사도(R_{eff})를 나타내었다. 원도우 구조에 의한 실효 반사도는 원도우 영역의 길이가 증가하고, 활성층의 폭이 감소함에 따라서 실효 반사도가 감소하는 것을 알 수가 있다. 이는 활성층의 폭을 크게 할수록 축방향 spot size가 증가하므로 실효 반사도 역시 증가하는 것을 알 수가 있다. 그리고 SCH층의 두께 변화에는 큰 영향을 받지 않는 것을 알 수가 있다.

한편, 소자 양쪽의 거울면에 무반사 코팅을 하지 않은 공간상의 단일 FFP(Far Field Pattern)를 고려할 경우에 도파로 폭을 작게 만들어주면 효과적일 것으로 생각되며, 특히 도파로를 tapered 형태로 만들면 반사도를 효과적으로 낮출 수 있을 것으로 생각된다.

2.2 Laterally tilted angle에 따른 반사도

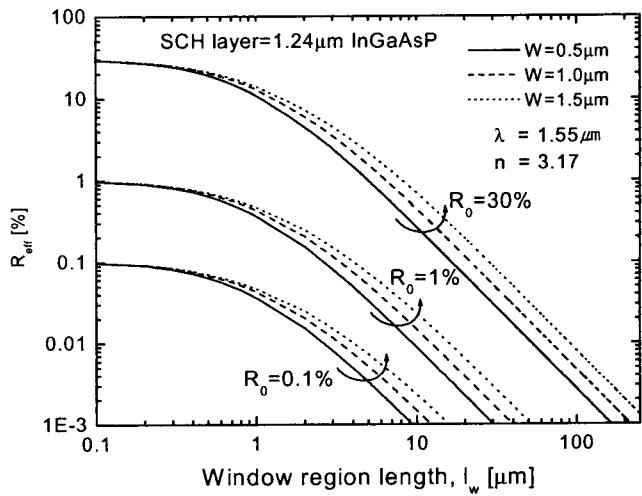
본 절에서는 반도체 레이저의 반사도를 줄이기 위한 또 다른 방법에 대하여 기술을 한다.

LD의 계면과 내부의 도파로가 만나는 지점에 축방향으로 각도를 줌으로써 도파로 내로 다시 반사되어 들어가는 양을 효과적으로 줄일 수 있는 것으로 알려져 있다.^[8]



SCH층의 두께(d_2) = $0.08\mu\text{m}$, 활성층의 두께(d_3) = $0.2\mu\text{m}$
SCH층의 조성 = $1.24\mu\text{m}$ InGaAsP

Fig. 4 Effective Reflectivity of the window structure R_{eff} as a function of the window length, active layer width, and R_0



SCH층의 두께(d_2) = $0.12\mu\text{m}$, 활성층의 두께(d_3) = $0.2\mu\text{m}$
SCH층의 조성 = $1.3\mu\text{m}$ InGaAsP

Fig. 5 Effective Reflectivity of the window structure R_{eff} as a function of the window length, active layer width, and R_0

Fig. 6에 laterally tilted 도파로의 구조를 나타내었다. 도파로의 끝은 θ 각으로 tilted 되어 있으며 다시 원도우 영역과 연결이 되어있다. 완전한 거울면을 가정할 경우에 다시 되돌아오는 필드의 반사계수를 구하는 문제는 2θ 로 tilted된 slab 도파로에서 tilted angle에 따른 손실 계산 문제와 등가가 된다. 하지만, 제작하고자 하는 구조는 완전한 거울면이 아니기 때문에 유한한 반사도를 가지게 된다. 이처럼 유한한 반사도를 가지게 될 경우에는 tilt 손실과 tilted angle에 따른 Fresnel 반사손실을 곱하여 주어야 한다. 그러나 Fresnel 반사손실은 평면파에 대해서만이 잘 알려져 있다. 여기서는 기본 TE 모드에 대한 Fresnel 반사손실의 계산에서 평면파에 대한 결과식을 이용하였다. 이는 오차가 그리 크지 않기 때문에 계산의 번거로움을 줄이기 위함이다.

해석을 위한 도파로 구조를 Fig. 7에 나타내었다. 원도우 영역과의 경계에서 반사되는 필드는 2θ 의 각으로 원도우 영역으

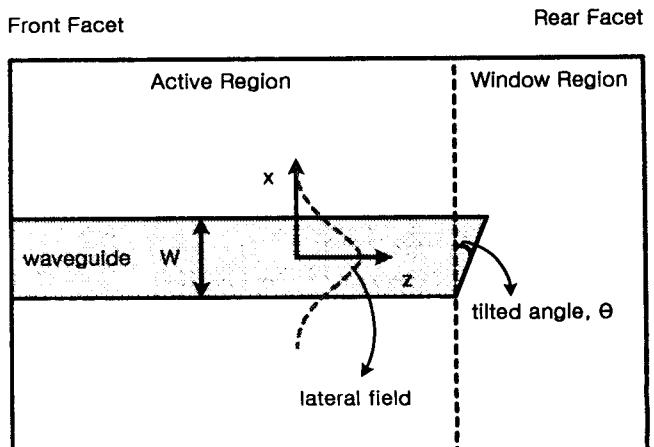


Fig. 6 Slab waveguide structure with laterally tilted angle

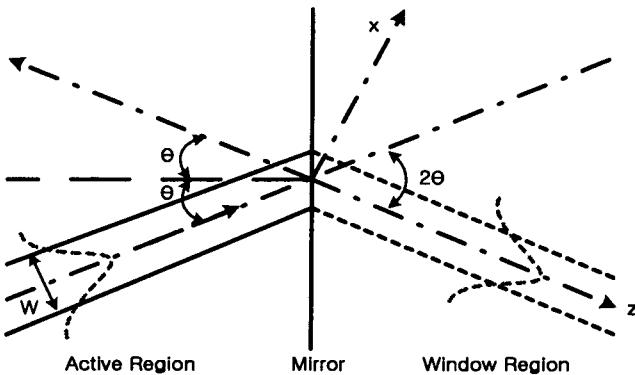


Fig. 7 Slab waveguide structure with laterally tilted angle to calculate the reflectivity

로 도파되는 필드와 등가이다.

그리고 이러한 윈도우 영역으로 도파되는 필드는 활성영역의 도파로에서 도파되는 필드에 의하여 발생한다. 만일 두 필드의 위상이 완전히 일치한다면 투과계수는 1이 될 것이다. 하지만 tilted angle에 의한 손실은 두 필드의 위상면이 일치하지 않기 때문에 발생한다. 이러한 효과는 윈도우 영역으로 입사되는 필드에 위상과 관련된 요소 $e^{2i\theta\beta x}$ 를 곱해 주어야 설명이 가능한 것으로 알려져 있다.^[9] 여기서 β 는 가이드된 TE 모드의 전파상수를 나타낸다. 그리고 x는 측방향 좌표축을 나타낸다. 진폭에 대한 투과계수는 다음의 식으로 주어진다.^[10]

$$c = \frac{\beta}{2\omega\mu_0 P_0} \int_{-\infty}^{\infty} |E_y|^2 e^{2i\theta\beta x} dx \quad (5)$$

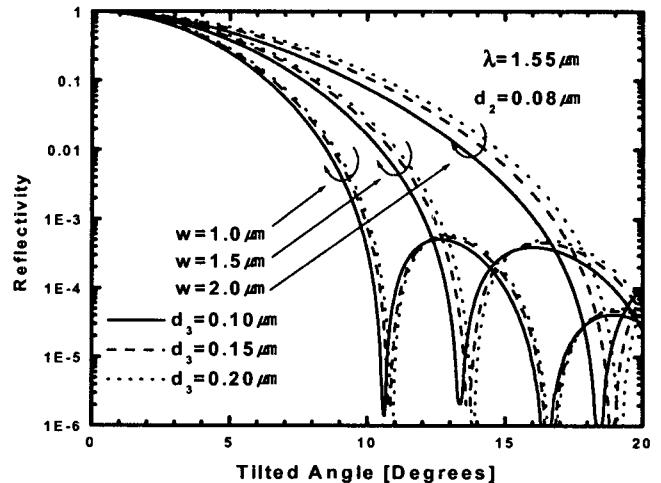
여기서, E_y 는 측방향의 기본 TE 모드를 나타내며, ω 는 각 주파수, μ_0 는 진공의 투자율 그리고 P_0 는 도파되는 필드에 의하여 운반되는 광출력을 나타낸다. 위의 식 (5)를 이용하여 실제 광출력에 대한 반사계수는 다음의 식 (6)과 같이 표현이 된다.

$$R_g = R_f(\theta) |c|^2 \quad (6)$$

여기서 $R_f(\theta)$ 는 윈도우 영역과 활성영역의 도파로 계면에서 tilted angle에 의한 평면파의 Fresnel 반사계수를 나타낸다. $R_f(\theta)$ 는 다음 식 (7)과 같이 표현이 된다.^[11]

$$R_f(\theta) = \frac{(n_{eff} \cos \theta - \sqrt{n_w^2 - n_{eff}^2 \sin^2 \theta})^2}{(n_{eff} \cos \theta + \sqrt{n_w^2 - n_{eff}^2 \sin^2 \theta})^2} \quad (7)$$

여기서 활성영역의 굴절률은 소자의 유효굴절률 n_{eff} , 윈도우 영역의 굴절률은 n_w 로 InP의 굴절률 값인 3.17을 이용하였다. 그리고 진폭에 대한 투과계수 식 (5)의 계산에서 E_y 의 표현식은 측모드 해석을 위한 파동방정식과 활성층에서의 측방향 광가둠계수를 구하는 식을 이용하여 수치적분을 하였다. 그리고 SCH층의 두께가 $0.08\mu m$ 이고, 조성이 $1.24\mu m$ InGaAsP인 경우에 활성층의 두께와 폭 그리고 tilted angle에 따른 기본 TE 모드의 반사도 변화를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8에서 보면



SCH층의 두께(d_3) = $0.08\mu m$, SCH층의 조성 = $1.24\mu m$ InGaAsP

Fig. 8 Fundamental TE mode Reflectivity with tilted angle, active thickness, and width

활성영역의 도파로에 laterally tilted angle을 만들어 10^{-3} 이하의 반사도를 얻기 위해서는, 활성층 폭이 $1\mu m$ 인 경우에는 약 10° - 11° 의 tilted angle이 적당할 것으로 생각되며, 활성층 폭이 $1.5\mu m$ 인 경우에는 약 13° - 14° 의 tilted angle이 적당할 것으로 생각된다.

3. 반도체 레이저의 제작 및 특성

3.1 반도체 레이저의 제작

본 연구에서는 InP기판에 격자정합을 이룬 $1.24\mu m$ 의 발진파장을 가진 InGaAsP를 장벽층으로 하고, InP 기판과 0.8% 압축응력을 가진 두께 30\AA 의 InGaAs를 우물층으로 하여 발진파장이 $1.55\mu m$ 인 압축응력 양자우물 구조의 웨이퍼를 MOCVD와 같은 장치를 이용하여 성장시키고, 이를 LPE 장치에서 소자로 제작하는 hybrid process로서 다중양자우물구조를 가진 광섬유 센서용 반도체 레이저를 제작하였다. LPE 장치는 가장 기본적인 결정성장 장치로서, LPE를 이용한 결정성장에 관해서는 많은 자료들이 발표되어 있으며 성장층의 두께가 다소 두꺼운 소자의 제작에는 성장률이 낮은 다른 장치들에 비하여 유리한 측면도 있다. 본 연구에서는 mesa 모양을 형성할 때 wet etching과 meltback 두 가지 모두를 이용하였다. 먼저 에피 웨이퍼의 p-InP층을 $H_3PO_4 + HCl(4:1)$ 용액으로 1분간 에칭한 후 활성층을 $H_2SO_4 + H_2O_2 + H_2O$ (1:1:5) 용액으로 3분 20초간 에칭하였고, n-InP층을 $H_3PO_4 + HCl(4:1)$ 로 2분 20초간 에칭을 한 다음 80%의 불포화용액을 이용하여 $630^\circ C$ 에서 10초간 meltback하고 이어서 전류 차단층을 성장하였다. Meltback 온도는 $610^\circ C$ 로 실험을 하였으며, cooling rate는 $1.0^\circ C/min$ 으로 하였다. Meltback을 한 후 전류 차단층인 p-InP층, n-InP층, p-InP층을 성장시키고, 냉각시키는 동안에도 기판에 열손상이 발생할 수 있으므로 p⁺-InGaAs층을 성장시킨 후 냉각시

겼다. 그리고 p-InP층과 n-InP층의 도편트는 각각 Zn/In와 Te/In alloy를 사용하였으며, 도핑 농도는 각각 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 과 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 로 하였다. Fig. 9는 2차 재성장에 의하여 성장된 전류 차단층을 보여주고 있다. 측면의 전류 차단층은 전류의 흐름을 차단시켜 줄뿐만 아니라 굴절률차가 나타나므로 측방향으로 광을 가두는 역할을하게 된다. 재성장을 통해 제작된 웨이퍼에 남아있는 SiN_x를 제거한 후 3차 성장을 통해 p-InP층과 p⁺-InGaAs층을 성장시켰다. Fig. 10은 3차 재성장된 반도체 레이저의 front facet에 대한 SEM 단면 사진을 나타내었다.

p측 전극으로는 Ti(3000Å)/Pt(200Å)/Au(4000Å)을 n측 전극으로는 Cr(500Å)/Au(5000Å)을 E-Beam 증착기를 사용하여 증착하였으며, 400°C에서 약 30초간 열처리를 하였다. SEM 단면 사진을 보면 활성층의 두께는 약 0.2μm이고, 고출력 동작을 위해서 strongly index-guided 구조 중에 하나인 평면 매립형 구조를 가지고 있다.

3.2 반도체 레이저의 특성

본 연구에서 제작된 반도체 레이저의 성능을 평가하기 위하여 펄스 구동 및 직류 구동에 따라 전류 대 광출력 특성과 온도에 따른 스펙트럼 특성을 측정하였다.

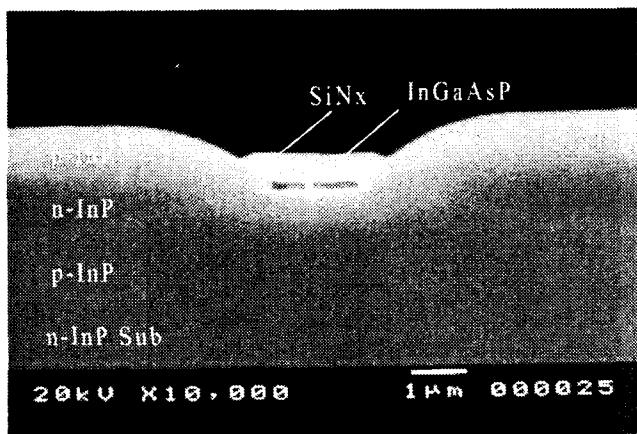


Fig. 9 Result of regrowth

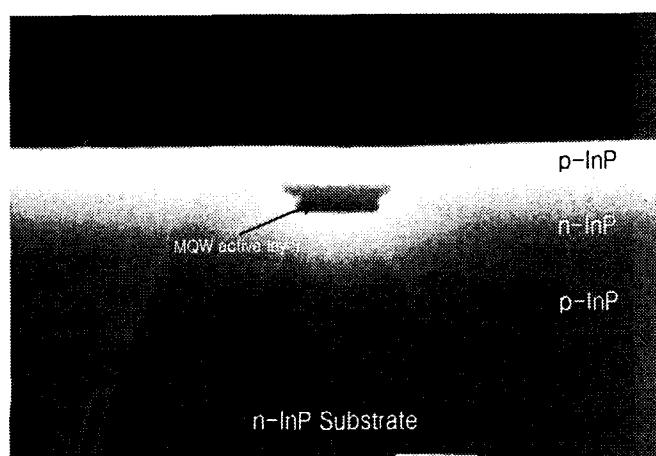


Fig. 10 SEM cross section of regrowth layer

3.2.1 펄스 구동시 광학적 특성

제작된 반도체 레이저의 특성을 확인하기 위하여 전류 대 광출력 특성을 측정하였다. 활성층에서 발생하는 Joule 열의 영향을 줄이기 위하여 펄스 주기 1ms, 펄스 폭 10μs, 1% duty cycle 인 전류펄스로 소자를 동작시켰다. 제작된 소자의 stripe 형태는 광출력이 나오는 출사단면은 약 1μm의 폭을 가지고, 후면은 흡수영역과 7도와 15도로 경사각을 가지고 있다. 따라서, 소자의 타입을 L7과 L15로 구분하여 측정된 소자를 표현하겠다. 그리고 후면이 굽은 stripe 구조를 가지는 것은 내경이 400μm이고 외경이 500μm인 것을 R450이라고 표기하여 기술하겠다.

Fig. 11과 12는 각각 L7, R450의 주입전류 대 광출력 특성을 나타내고 있다. 온도를 증가시키면서 측정을 행하였으며, 온도가 증가함에 따라 출력이 감소함을 알 수 있다.

그리고, Fig. 13은 25°C일 때, 각 전류에 대한 스펙트럼 특성을 나타내었고, 110mA까지 레이징이 일어나지 않음을 알 수 있다.

Fig. 14와 15는 각각 L15, R450에 대한 여러 전류값에서의 스펙트럼 특성을 보여주는 것으로서, 100mA까지 레이징이 일어나지 않음을 확인하였다.

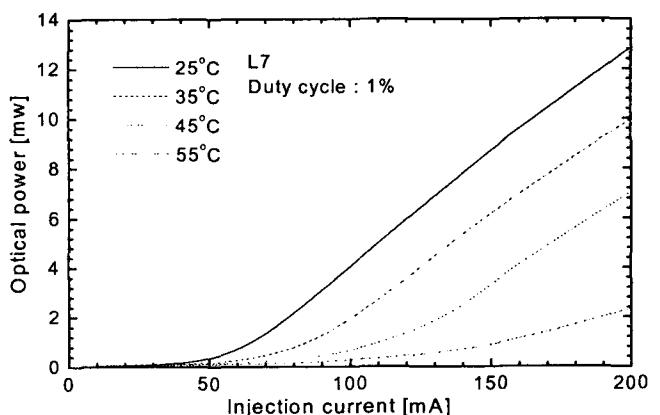


Fig. 11 Temperature dependence of injection current versus optical power for L7

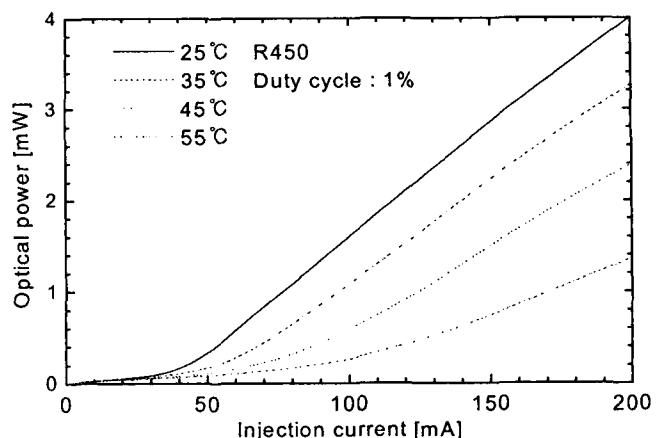


Fig. 12 Temperature dependence of injection current versus optical power for R450

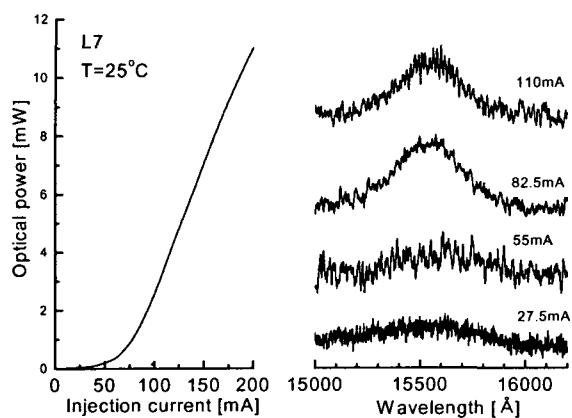


Fig. 13 The characteristics of I-L and spectrum of L7 according to injection current

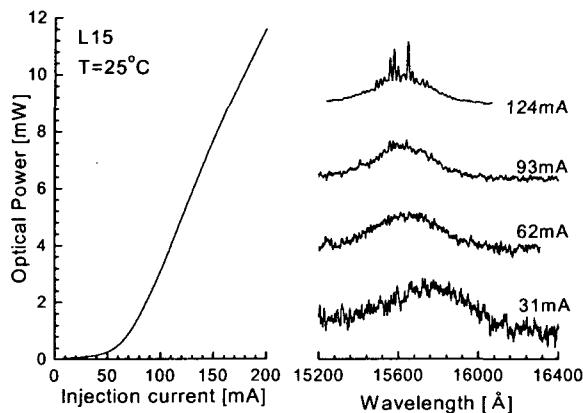


Fig. 14 The characteristics of I-L and spectrum of L15 according to injection current

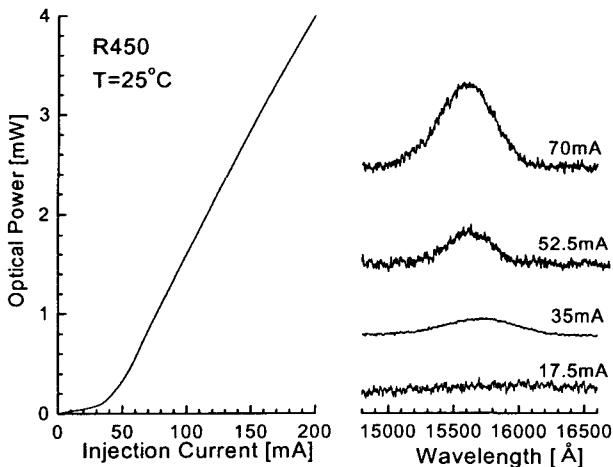


Fig. 15 The characteristics of I-L and spectrum of R450 according to injection current

Fig. 16, 17과 18은 각각 L7, L15와 R450의 온도에 따른 스펙트럼 특성을 보여주고 있다.

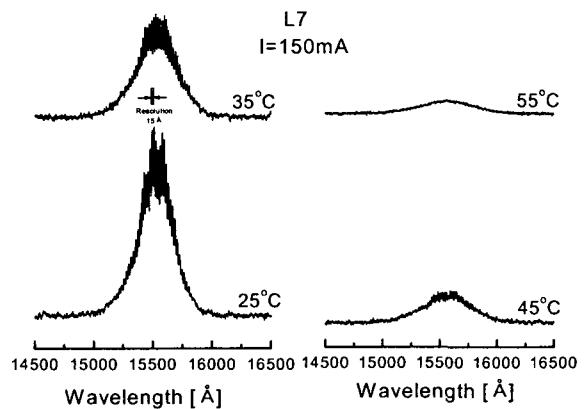


Fig. 16 The spectrum characteristics of L7 according to temperature

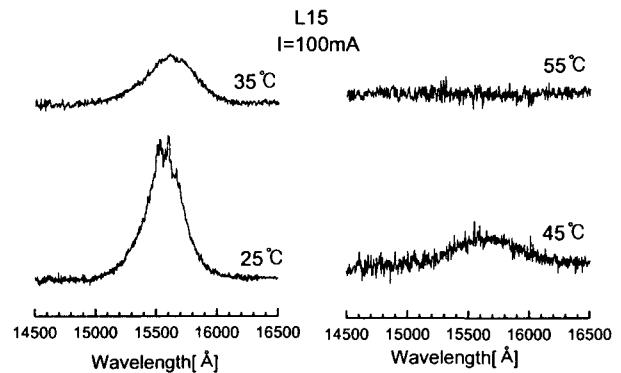


Fig. 17 The spectrum characteristics of L15 according to temperature

Fig. 16에서 L7은 150mA, 25°C에서 중심파장이 15512Å이고, 55°C에선 15592Å의 값으로서 장파장으로 이동하였으며 온도에 따른 파장 변화율은 2.67Å/°C였다. Fig. 17에서 L15는 100mA, 25°C에서 중심파장이 15560Å이며 45°C에선 15650Å로서 온도에 따른 파장 변화율은 4.5Å/°C였다. 그리고, Fig. 18에서 R450은 136mA, 25°C에서 중심파장이 15549Å이며 45°C에선 15635Å으로서 온도에 따른 파장 변화율은 2.87Å/°C였다.

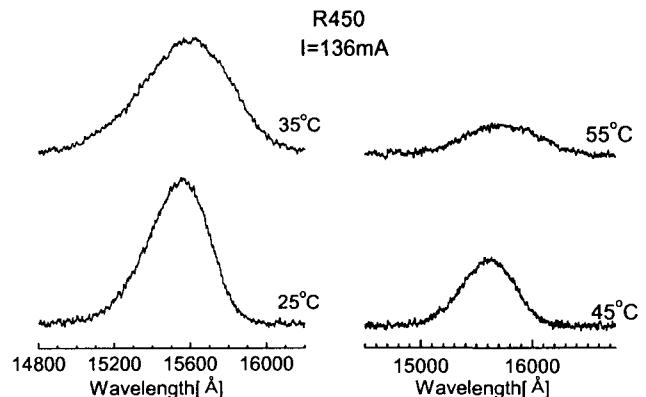


Fig. 18 The spectrum characteristics according to temperature

3.2.2 직류(CW) 구동시 광학적 특성

광센서용 광원이 제품화되어 사용이 될 때에는 회로의 구성이 간단한 직류 구동으로 동작을 하게 된다. 따라서, 본 연구에서 제작된 소자들의 직류 구동시 특성을 측정하였다.

Fig. 19와 20은 각각 L7과 R450에 대한 온도에 따른 주입 전류 대 광출력 특성을 나타내고 있으며, Fig. 11과 12에 비하여 출력이 현저히 떨어진 것을 알 수 있다. 25°C, 100mA에서 측정한 결과, L7과 R450의 광출력은 각각 $130\mu\text{W}$ 와 $265\mu\text{W}$ 였고, 그림은 생략하였지만 L15의 경우에는 $86.5\mu\text{W}$ 였다.

Fig. 21과 23은 각각 L7, R450의 25°C에서 전류에 따른 스펙트럼 특성을 나타내었고, Fig. 22와 24는 각각 L7, R450의 100mA에서 온도에 따른 스펙트럼 특성을 나타내었다. 여기서, L15의 특성도 유사하였으므로 그림은 생략하였다. 25°C, 100mA에서 L7, R450의 스펙트럼 반치폭은 각각 51nm, 53nm였고, L15의 경우는 54.5nm였다.

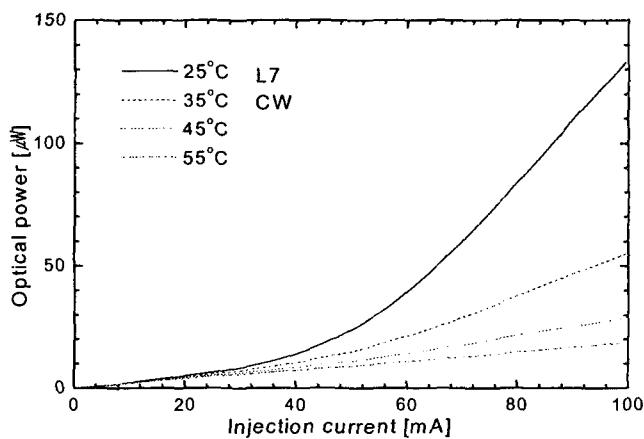


Fig. 19 Temperature dependence of injection current versus optical power for L7

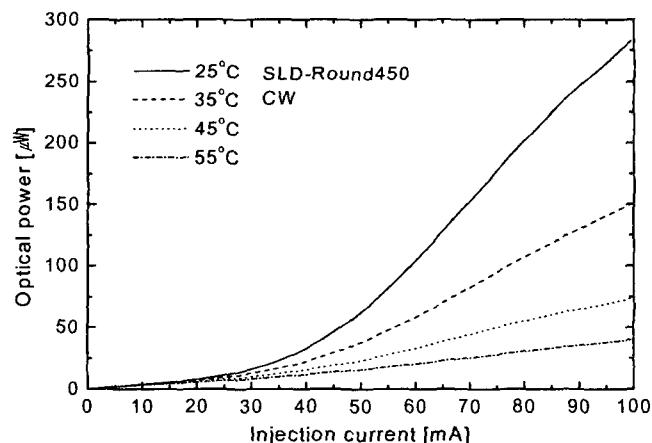


Fig. 20 Temperature dependence of injection current versus optical power for R450

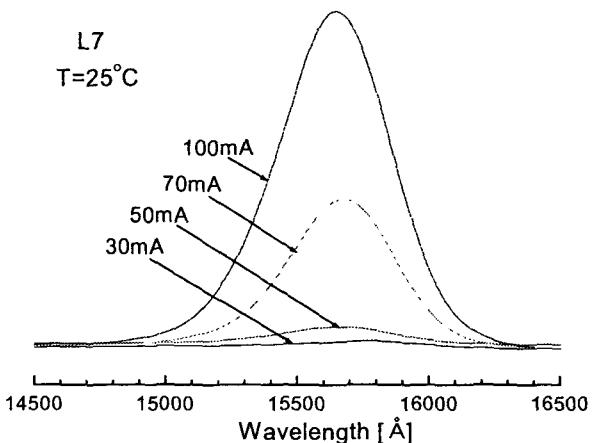


Fig. 21 The spectrum of SLD-L7 according to current

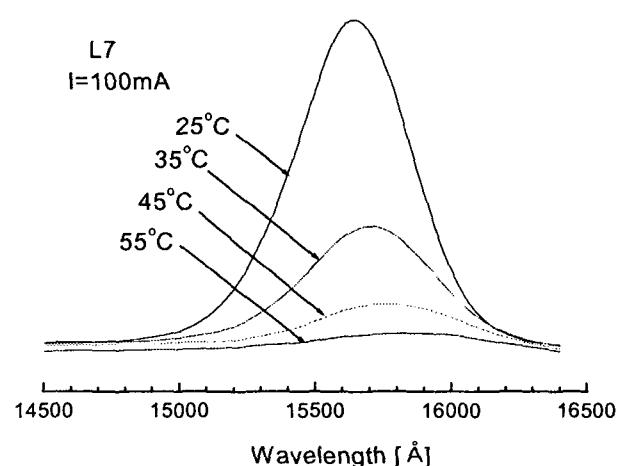


Fig. 22 The spectrum of L7 according to temperature

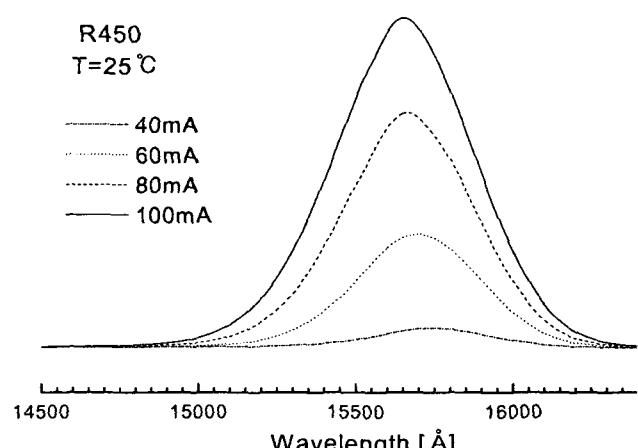


Fig. 23 The spectrum of R450 according to current

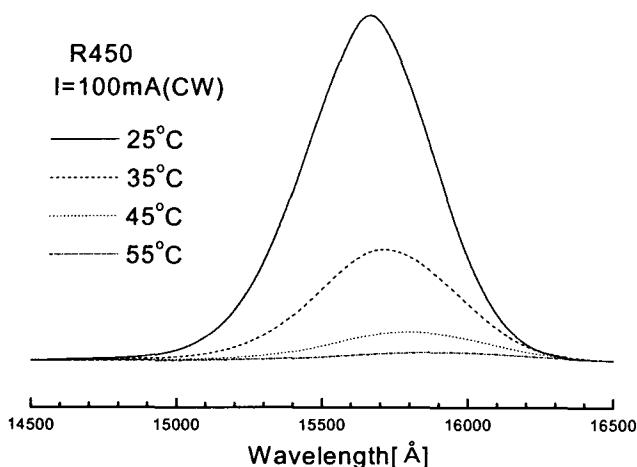


Fig. 24 The spectrum of R450 according to temperature

이상의 특성 측정 결과를 정리하여 표 1에 나타내었다.

Table. 1 The characteristics of fabricated devices under pulse and CW drive current[T=25°C]

	SLD Type	L7	L15	R450
펄스 동작	임계전류 [mA]	55	62	35
	출력[mW] (I=100mA)	2.6	3	1.6
직류 동작	중심파장 [μm]	1.56	1.57	1.56
	출력[mW] (I=100mA)	130	86.5	265
	스펙트럼 반치폭[nm]	51	54.5	53
	파장변화 [Å/C]	2.67	4.5	2.87

4. 결 론

본 연구에서는 광섬유 센서용 광원에 적합한 반도체 레이저를 제작하였다. 후면 반사도를 줄이기 위하여 윈도우 영역의 길이에 따른 실효 반사도를 계산하였으며, 윈도우 영역과 공기와의 계면에 무반사 코팅을 하였을 때의 반사도도 계산하였다. 그 결과 $0.2\mu\text{m}$ 의 활성층을 가지며 윈도우 영역과 공기계면을 무반사 코팅을 하지 않았을 경우 0.01% 의 반사도를 얻기 위하여 $70\mu\text{m}$ 이상의 윈도우 영역이 필요하지만, 1% 의 무반사 코팅을 한 경우는 $10\mu\text{m}$ 정도이면 충분히 낮은 반사도를 얻을 수 있다는 계산 결과를 얻었다. 그리고 MOCVD 장비를 이용하여 성장된 에피 웨이퍼를 LPE 장치를 이용하여 재성장하고, 전극 증착을 하여 반도체 레이저를 제작하였다. 제작된 반도체 레이

저의 활성층 두께는 약 $0.2\mu\text{m}$ 였고, 특성측정 결과 직류 구동시 25°C , 100mA 에서 L7, L15는 각각 $130\mu\text{W}$, $86.5\mu\text{W}$ 이었고, R450은 $265\mu\text{W}$ 였다. 그리고 스펙트럼 폭은 L7, L15, R450에서 각각 51 nm, 54.5nm, 53nm의 넓은 값을 가짐으로서 광센서용 광원으로의 적용이 가능함을 알 수 있었다.

따라서, 현재 외국에서 출시되고 있는 제품과 특성이 비슷하기 때문에 전량 외국제품을 이용하는 우리나라로서는 국산화 가능성이 높아졌고, 경제적으로 국내 산업에 도움이 될 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2001년도 산학협동재단 학술 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] S. S. Wagner, et. al.(Jan, 1989), "WDM Applications in Broadband Telecommunication Networks," *IEEE Comm. Mag.*, pp. 22~30.
- [2] B. J. Ainslie, S. P. Craig, and S. T. Davey(1987), "The Fabrication and Optical Properties of Nd³⁺ in Silica-based Fibers," *Material Lett.*, Vol. 5, No. 4, pp. 143~145.
- [3] I. Cha, M. Kitamura, H. Honmou, and I. Mito(1989), "1.5 μm Band Travelling-Wave Semiconductor Optical Amplifiers with Window Facet Structure," *Electron. Lett.*, Vol. 25, No. 18, pp. 1241~1242.
- [4] H. Kogelink, and C. V. Shank(May, 1972), "Coupled Theory of Distributed Feedback Lasers," *J. Appl. Phys.*, Vol. 43, No. 5, pp. 2327~2336.
- [5] H. Soda, K. Iga, C. Kitahara and Y. Suematsu(1979), "GaInAsP/InP Surface Emitting Injection Lasers," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 18, pp. 2329~2330.
- [6] X. Zeng, C. Liang, and Y. An(April, 1997), "Far-field Radiation of Planar Gaussian Source and Composition with Solutions Based on The Parabolic Approximation," *Applied Optics*, Vol. 36, No. 10, pp. 2042~2047.
- [7] K. Utaka, S. Akiba, K. Sakai and Y. Matsushima (1984), "Effect of Mirror Facets on Lasing Characters of Distributed Feedback InGaAsP/InP Laser Diodes at 1.5μm Range," *IEEE. J. Quantum Electron.*, QE-20, pp. 236~245.
- [8] D. R. Scifres, W. Streifer, and R. D. Burnham(1987), "GaAs/ GaAsAl Diode Lasers with Angled Pumping Stripes," *IEEE. J. Quantum Electron.*, QE-14, pp. 223~227.
- [9] J. Salzman, R. Lang, S. Margalit, and A. Yariv(1985),

- "Tilted Mirror Semiconductor Laser," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 47, pp. 9~11.
- [10] C. A. Hill and D. R. Hall(1986), "Waveguide Laser Resonator with a Tilted Mirror," *IEEE. J. Quantum Electron.*, QE-22, pp. 1078~1087.
- [11] D. Marcuse(1972), *Light Transmission Optics*, Bell Laboratories Series, New York: Van Nostrand Reinhold, pp. 22.

원고접수일 : 2002년 04월 30일

원고채택일 : 2002년 05월 20일