

論文93-30A-10-4

# 고출력 AlGaAs SCH-SQW 레이저 다이오드 개발

## (Development of High-Power AlGaAs SCH-SQW Laser Diode)

孫 埴 承\*, 桂 溶 燦\*, 權 五 大\*\*

(Jin Seung Son, Yong Chan Kye and O'Dae Kwon)

### 要 約

MOCVD를 이용하여  $Al_{0.07}Ga_{0.93}As$  separate-confinement hetero-structure single-quantum-well (SCH-SQW) 레이저 다이오드를 제작하였다. 거울면 coating 없이 펄스전류원으로 구동했을 때, 채널폭  $60\mu m$ 인 LD로부터 약  $0.8\text{watt/facet}$ 의 최대출력을, 채널폭  $160\mu m$ 인 LD로부터 약  $1.83\text{watt/facet}$ 의 최대출력을 각각 얻었다. 채널폭  $60\mu m$ 인 LD의 외부미분양자효율은 약  $21.7\%/facet$ 이었으며, 문턱전류밀도는 약  $1k[A/cm^2]$ 이었다. 채널폭  $160\mu m$ 인 LD의 외부미분양자효율은 약  $25.6\%/facet$ 이었으며, 문턱전류밀도는 약  $1k[A/cm^2]$ 이었다. 채널폭  $60\mu m$ 인 LD중에서 측정된 최소문턱전류밀도는 공진기 길이가  $603\mu m$ 일 때 약  $620[A/cm^2]$ 이며, 채널폭  $160\mu m$ 인 LD중에서 측정된 최소문턱전류밀도는 공진기 길이가  $752\mu m$ 일 때 약  $675[A/cm^2]$ 이다. 레이저 다이오드의 내부양자효율과 내부손실은 각각  $92.3\%$ ,  $18.1\text{cm}^{-1}$ 이다.

### Abstract

Separate-confinement hetero-structure (SCH) broad area Laser Diodes (LD's) were fabricated from  $Al_{0.07}Ga_{0.93}As$  single-quantum-well (SQW) grown by metal organic chemical vapor deposition (MOCVD). Under pulsed operation, we obtained maximum output powers of about  $0.8\text{watt/facet}$  and  $1.83\text{watt/facet}$  from LD's with  $60\mu m$  and  $160\mu m$  channel width, respectively, without facet coatings. The differential quantum efficiency of the  $60\mu m$  wide LD was about  $21.7\%/facet$  and its threshold current density was about  $1k[A/cm^2]$ . The differential quantum efficiency of the  $160\mu m$  wide LD was about  $25.6\%/facet$  and its threshold current density was about  $1k[A/cm^2]$ . The minimum threshold current density of  $60\mu m$  wide LD's was  $620[A/cm^2]$  when the cavity length was  $603\mu m$  and the minimum threshold current density of  $160\mu m$  wide LD's was  $675[A/cm^2]$  when the cavity length was  $752\mu m$ . The internal quantum efficiency and the internal loss of both LD's were  $92.3\%$  and  $18.1\text{cm}^{-1}$ , respectively.

### 1. 서론

1962년에 GaAs 동종접합(homo-junction)으로부터 레이저 다이오드(LD)의 유도방출이 관찰된 이후, epitaxy기술이 꾸준히 발전함에 따라 이종접합(Heterostructure), 이중이종접합(Double Heterostructure:DH) LD가 실현되었으며, 특히, MBE(molecular beam epitaxy)와 MOCVD(metal-

\*準會員, \*\*正會員, 浦項工科大学 電子電氣工學科  
産業科學技術研究所  
(Dept. of Electronics & Electrical Eng.,  
POSTECH / RIST)

\* 본 연구는 산업과학기술연구소 (RIST) 기술과  
제의 지원을 받았음  
接受日字: 1993年 3月 9日

organic chemical vapor deposition)기술의 발전으로 80년대부터 양자우물구조의 LD가 활발하게 연구되었다.

최근에는 고출력 LD가 활발히 연구되고 있으며, 고속 광기록, 고속 프린터, 장거리 광전송 그리고 고체레이저 펄프광원 등의 용도로 쓰이고 있다. 고체레이저 펄프용으로는 Nd:YAG나 Nd:YLF와 같은 고체레이저의 흡수밴드에 해당하는 파장을 발진시킬 수 있도록, AlGaAs 혹은 InGaAsP등의 [1], [2] 활성층을 사용한 고출력 레이저가 활발히 연구되고 있다.

LD로부터 고출력을 얻기 위해서는 다음과 같은 두 가지 기술이 있다. 첫번째 기술은 LD의 단일기판 어레이를 구현하는 것이며 [3], [6], 두번째 기술은 활성층을 넓게 하는 것이다. [7], [9] 단일기판 LD 어레이는 broad-area(BA) LD보다 더 높은 출력을 낼 수 있으나, 위상잠금(phase-locking)을 하지 않을 경우 각 stripe이 서로 다른 주파수에서 독립적으로 발진하기 쉬우며, 같은 주파수에서 발진하도록 위상잠금(phase-locking)을 할 경우 제작기술이 BA LD에 비해서 더 정밀해져야 된다는 단점이 있다. [9]

본 논문에서는 MOCVD를 이용하여 Nd:YAG 레이저를 펄프할 수 있는 고출력 AlGaAs 단일양자우물구조 BA LD를 제작하였으며, 그 특성에 대해서 고찰하고자 한다. II 장에서는 양자우물구조에 대해서, III 장에서는 제작한 LD의 구조 및 제작공정을 기술하였다. IV 장에서는 제작한 LD의 측정결과를 기술하였으며, V 장에서 결론을 맺었다.

### II. 양자우물구조

주지하는 바와 같이, bulk에서의 상태밀도는 E<sup>1/2</sup>에 비례하나 활성층의 두께를 캐리어의 de Broglie 파장 정도로 줄이면 Quantum size effect (QSE)가 나타나서 캐리어의 이동은 접합면에 수직인 방향으로 양자화되며, 상태밀도도 계단형으로 바뀌게 된다.

통상적인 DH LD와 양자우물구조 LD를 비교해보면, 양자우물구조 LD는 DH LD보다 활성층의 두께가 얇으므로 G(구속계수:confinement factor)는 감소하지만, 상태밀도가 효율적인 계단형으로 변화하므로 DH LD보다 문턱전류밀도는 낮아진다. 또한, bulk에서의 N<sub>c</sub>(effective density of states)는 T<sup>3/2</sup>에 비례하나, 양자우물구조에서의 N<sub>c</sub>는 T에 비례하므로 양자우물구조 LD는 DH LD보다 온도에 대한 의존도가 적어 T<sub>0</sub>(특성온도:characteristic temperature)가 더 높다. [10] 그러므로, 고출력 LD의

경우, 통상적인 DH LD에 비해 양자우물구조 LD가 더 유리하다.

양자우물구조에는 Γ가 감소하는 것을 보완하기 위하여 광도파층을 따로 만들어 광구속(optical confinement)을 감안한 separate-confinement heterostructure single-quantum well(SCH-SQW), graded-index separate-confinement heterostructure (GRIN-SCH)와 활성층을 여러 개로 만든 다중양자우물구조 등이 있다.

### III. LD 웨이퍼의 구조 및 제작공정

#### 1. LD 웨이퍼의 구조

일반적으로, BA LD는 여러 종류의 비균일성, 특히, 활성층이나 광도파층의 비균일성에 의하여 filamentary oscillation을 일으킬 수 있으므로 이에 주의해야 한다. [11]

본 논문에서 성장시킨 웨이퍼의 구조는 단일양자우물의 SCH구조이며, (그림1)에 도시하였다. (그림1)에서처럼 활성층의 비균일성과 LD의 성능을 고려하여 활성층의 Al 조성비는 0.07, 두께는 150Å로 하였으며, active-guiding layer의 Al 조성비는 0.29, 두께는 700Å, cladding layer의 Al 조성비는 0.48, 두께는 1μm로 하였다.

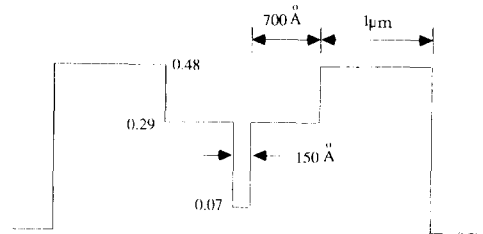


그림 1. LD 웨이퍼의 구조  
Fig. 1. Epi-structure of LD.

#### 2. 제작공정

MOCVD로 성장시킨 LD 웨이퍼의 자연산화막을 제거한 다음 Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD)를 이용하여 약 1600 Å 정도의 산화막을 증착시켰다. 채널폭이 각각 50μm, 150μm인 두 개의 마스크를 이용하여 광식각을 하였으며, BHF로 산화막을 식각하였다. 그러나 산화막 식각 중 lateral etching이 일어나서, 50μm는 60μm로, 150μm는 160μm로 채널폭이 각각 늘어났다. 웨이

피의 두께는 약  $100\mu\text{m}$  가 되도록 lapping하였다. Ohmic contact을 위해서 p쪽면에는 Cr, Au를, n쪽면에는 AuGe, Ni, Au를 증착한 다음, RTP기기로  $420^\circ\text{C}$ 에서 10초간 Alloy했다.

손으로 LD웨이퍼를 cleaving 할 경우, 거울면이 제대로 형성되지 않으므로, 마이크로미터가 있는 X-Y-Z 조정판과 diamond pencil을 optical rail에 고정시킨 cleaving 기구를 이용하였다. 이 cleaving 기구는 마이크로미터를 이용하므로 공진기의 길이를  $200\mu\text{m}$  이상은 임의대로 쉽게 만들 수 있으며, 거울면이 제대로 형성되는 것을 광학현미경으로 관찰할 수 있었다. cleaving이 끝난 LD bar는 sawing 공정을 거친 후, 열발산을 좋도록 하기 위해 p쪽면 아래로 mount에 올려 성능을 측정한다.

#### IV. 실험결과 및 고찰

##### 1. I-V 특성

채널폭  $60\mu\text{m}$  LD의 I-V 특성은 (그림 2)에 도시하였다. LD의 이상계수는  $V - \log I$  그림에서 측정할 수 있으며, 약 1.92정도의 이상계수를 얻었다. 이는 재결합에 의한 전류가 지배하는 것을 의미한다. 직렬저항은 전류가  $64.47\text{mA}$ 일 때  $1.52\Omega$ 이나, LD를 제외한 측정기구의 저항이 약  $1\Omega$ 이므로 LD의 실제 직렬저항은 약  $0.52\Omega$ 으로 볼 수 있다.

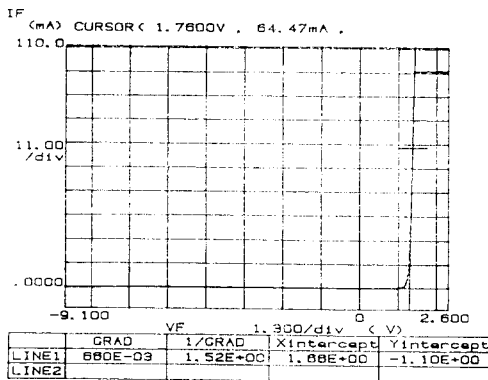


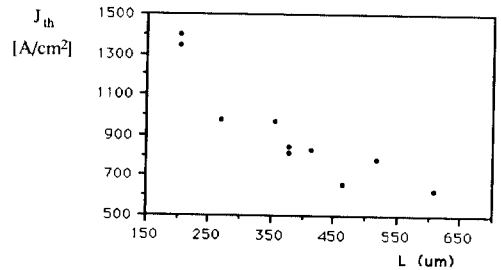
그림 2 채널폭  $60\mu\text{m}$  LD의 I - V 특성  
Fig. 2. I-V characteristics of channel width  $\sim 60\mu\text{m}$ .

##### 2. 문턱전류밀도 특성

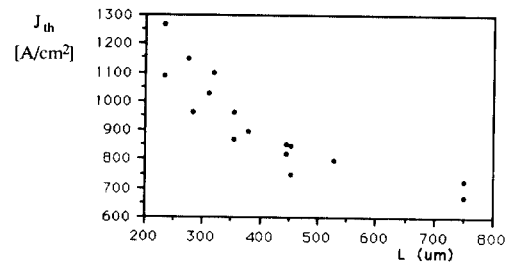
LD 구동은 폭  $0.8\mu\text{s}$ , 주파수  $7.14\text{kHz}$ 의 펄스전류원을 이용하였다.

공진기 길이에 따른 문턱전류밀도는 (그림3)에 도시하였으며, 공진기 길이 L에 거의 반비례하는 것을

알 수 있다. 채널폭  $60\mu\text{m}$ 인 LD의 측정된 최소문턱전류밀도값은 공진기 길이가  $603\mu\text{m}$ 일 때 약  $620 [\text{A}/\text{cm}^2]$  이었으며, 채널폭  $160\mu\text{m}$ 인 LD의 측정된 최소문턱전류밀도값은 공진기 길이가  $752\mu\text{m}$ 일 때 약  $675 [\text{A}/\text{cm}^2]$  이었다.



(a)



(b)

그림 3. (a) 채널폭  $60\mu\text{m}$  LD's의 공진기 길이에 따른 문턱전류밀도  
(b) 채널폭  $160\mu\text{m}$  LD's의 공진기 길이에 따른 문턱전류밀도

Fig. 3. (a) Threshold current density -cavity length for channel width  $\sim 60\mu\text{m}$ ,  
(b) Threshold current density -cavity length for channel width  $\sim 160\mu\text{m}$ .

##### 3. L-특성

외부미분양자효율과 공진기 길이와의 관계는 다음과 같다.

$$\eta_e^{-1} = \eta_e^{-1} \left( \frac{\alpha_s L}{\ln(1/R)} + 1 \right) \quad (1)$$

주어진 구동전류에서 최대 출력을 얻기 위해서는 문턱전류밀도가 작아야하고외부미분양자효율은 커야한다. 공진기 길이가 길어지면 문턱전류밀도는 작아지나 외부미분양자효율도 함께 작아지므로 최대출력

을 얻을 수 있는 최적의 공진기 길이가 존재한다.

채널폭 60 $\mu$ m LD's의 최대 출력은 약 0.8W/facet이며, 이 LD의 공진기 길이는 520 $\mu$ m, 문턱전류밀도는 약 1k [A/cm<sup>2</sup>], 출력이 300mW일 때 외부미분양자효율은 약 21.7%/facet이다. 채널폭 160 $\mu$ m LD's의 최대 출력은 약 1.83W/facet이며, 이 LD의 공진기 길이는 355 $\mu$ m, 문턱전류밀도는 약 1k [A/cm<sup>2</sup>], 출력이 900mW일 때 외부미분양자효율은 약 25.6%/facet이다. 채널폭 60 $\mu$ m LD와 채널폭 160 $\mu$ m LD의 외부미분양자효율이 다른 이유는, 채널폭 60 $\mu$ m LD cleaving 후 LD의 거울면에 어느 정도 자연산화막이 형성된 후 측정하였기 때문이다. 따라서, cleaving 후 바로 측정한 160 $\mu$ m LD의 외부미분양자효율이 더 높은 것으로 측정되었다. (그림 4a)는 채널폭 60 $\mu$ m, 공진기 길이 520 $\mu$ m인 LD의 L-I특성이며, (그림 4b)은 채널폭 160 $\mu$ m, 공진기 길이 355 $\mu$ m인 LD의 L-I특성이다.

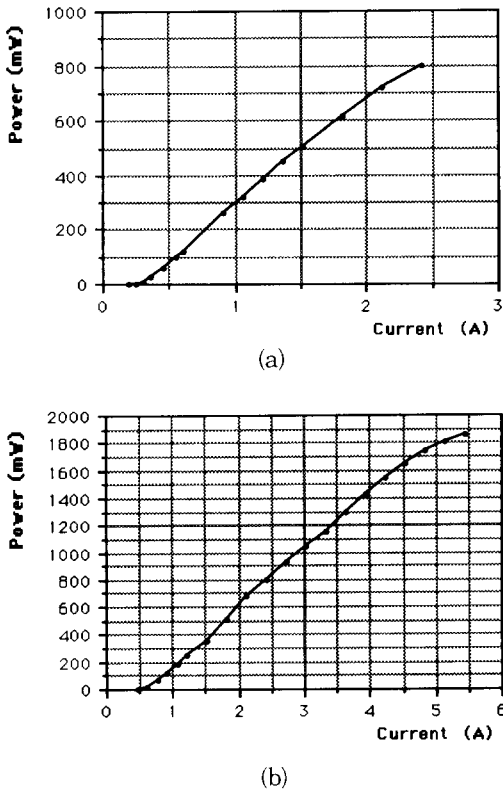


그림 4. (a) 채널폭 60 $\mu$ m LD의 L-I 특성  
(b) 채널폭 160 $\mu$ m LD의 L-I 특성

Fig. 4. (a) L-I Characteristics for channel width  $\sim$ 60 $\mu$ m, (b) L-I Characteristics for Channel Width  $\sim$ 160 $\mu$ m.

SCH-SQW 구조에서는 활성층이 얇으므로 대부분의 빛이 activeguide층으로 분포되어 COD (catastrophic optical damage) level이 증가하며, activeguide층의 bandgap은 활성층의 bandgap보다 크므로 optical absorption이 줄어들게 된다. 따라서, SCH-SQW 레이저 다이오드에서 고출력을 얻을 수 있는 것은 활성층에서의 Quantum Size Effect에 의한 광이득의 증가와 activeguide층의 광도파에 기인한다. [12], [13]

채널폭 60 $\mu$ m LD와 채널폭 160 $\mu$ m LD의 공진기 길이에 따른 외부미분양자효율은 (그림 5a), (그림 5b)에 각각 나타내었다. LD의 내부양자효율과 내부손실은 식 (1)과 (그림5)로부터 구할 수 있으며, 채널폭 60 $\mu$ m LD와 채널폭 160 $\mu$ m LD의 내부양자효율( $\eta_i$ )과 내부손실( $\alpha$ )은 각각 92.3%, 18.1cm<sup>-1</sup> 정도였다.

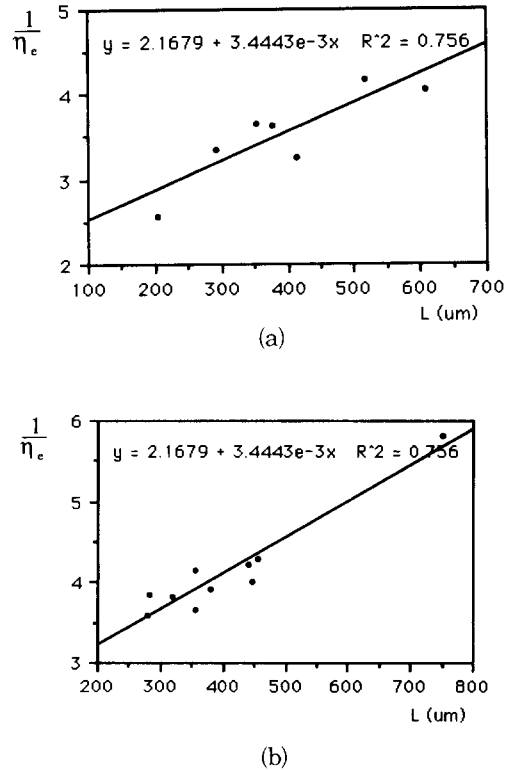


그림 5. (a) 채널폭 60 $\mu$ m LD의 공진기 길이에 따른 외부미분양자효율  
(b) 채널폭 160 $\mu$ m LD의 공진기 길이에 따른 외부미분양자효율

Fig. 5. (a) External quantum efficiency-cavity length for channel width  $\sim$ 60 $\mu$ m, (b) External quantum efficiency-cavity length for channel width  $\sim$ 160 $\mu$ m.

## V. 결론

MOCVD를 이용하여 채널폭이 각각  $60\mu\text{m}$ ,  $160\mu\text{m}$ 인 broad-area 고풍력 AlGaAs SCH-SQW 레이저 다이오드를 제작하였으며, 폭  $0.8\mu\text{s}$ , 주파수  $7.14\text{kHz}$ 의 펄스전류원으로 구동시켰다. 채널폭  $60\mu\text{m}$ 인 LD의 직렬저항은  $0.52\Omega$ 이다.

채널폭  $60\mu\text{m}$ 인 LD로부터 약  $0.8\text{W}/\text{facet}$ 의 최대출력을 얻었으며, 이 LD의 공진기 길이는  $520\mu\text{m}$ , 문턱전류밀도는 약  $1\text{k} [\text{A}/\text{cm}^2]$ , 그리고 외부미분양자효율은 약  $21.7\%/\text{facet}$ 이었다. 채널폭  $160\mu\text{m}$ 인 LD로부터는 약  $1.83\text{W}/\text{facet}$ 의 최대출력을 얻었으며, 이 LD의 공진기 길이는  $355\mu\text{m}$ , 문턱전류밀도는 약  $1\text{k} [\text{A}/\text{cm}^2]$ , 그리고 외부미분양자효율은 약  $25.6\%/\text{facet}$ 이었다.

채널폭  $60\mu\text{m}$ 인 LD의 최소문턱전류밀도값은 공진기 길이가  $603\mu\text{m}$ 일 때 약  $620 [\text{A}/\text{cm}^2]$  이었으며, 채널폭  $160\mu\text{m}$ 인 LD의 최소문턱전류밀도값은 공진기 길이가  $752\mu\text{m}$ 일 때 약  $675 [\text{A}/\text{cm}^2]$  이었다.

LD의 내부미분양자효율은 약  $92.3\%$ 이었으며, 내부손실은 약  $18.1\text{cm}^{-1}$ 이었다.

## 參考文獻

- [1] Dmitry Z. Garbuzov, N. Yu. Antonishkis, A. D. Bondarev, A. B. Gulakov, S. N. I. Katsavets, A. V. Kochergin, and E. V. Rafailov, "High-power  $0.8\text{mm}$  InGaAsP-GaAs SCH SQW lasers," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 27, pp. 1531-1536, 1991.
- [2] C. A. Wang and S. H. Groves, "New materials for diode laser pumping of solid-state lasers," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 28, pp. 942-951, 1992.
- [3] M. Sakamoto, M. F. Welch, G. L. Harnagel, W. Streifer, H. Kung, and D. R. Scifres, "Ultrahigh power  $38\text{W}$  continuous-wave monolithic laser diodes arrays," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 52, pp. 2220-2221, 1986.
- [4] L. J. Mawst, D. Botez, M. Jansen, T. J. Roth, and G. Peterson, "High-power, narrow single lobe operation from 20-element phase-locked arrays of antiguides," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 55, pp. 2060-2062, 1989.
- [5] T. Aoyagi, S. Hinata, K. Shigihara, Y. Seiwa, K. Ikeda, and W. Susaki, "High power operation of long-cavity phase-locked laser array," *Electron. Lett.*, vol. 22, pp. 1396-1397, 1987.
- [6] D. F. Welch, B. Chan, W. Streifer, and D. R. Scifres, "High-power  $8\text{W}$  CW, single-quantum-well laser diode array," *Electron. Lett.*, vol. 24, pp. 113-115, 1988.
- [7] K. Honda, T. Mamine, and M. Ayabe, "Single stripe high power laser diodes made by metal-organic chemical vapor deposition," *Proc. SPIE*, vol. 893, pp. 16-20, 1988.
- [8] K. Shigihara, Y. Nagai, Y. Kokubo, H. Matsubara, K. Ikeda, and W. Susaki, "lateral mode controlled wide-stripe lasers by modal reflector," *Proc. SPIE*, vol. 1219, pp. 179-185, 1990.
- [9] K. Shigihara, Y. Nagai, S. Karakida, A. Takami, Y. Kokubo, H. Matsubara, and S. Kakimoto, "High-power operation of broad area laser diodes with GaAs and AlGaAs single quantum wells for Nd:YAG laser pumping," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 27, pp. 1537-1543, 1991.
- [10] N. K. Dutta, "calculated threshold current of GaAs quantum well lasers," *J. Appl. Phys.*, vol. 53, pp. 7211-7214, 1982.
- [11] Y. Nagai, K. Shigihara, A. Takami, S. Karakida, S. Karakida, Y. Kokubo and A. Tada, "High-power operation of AlGaAs SQW-SCH broad area laser diodes for Nd:YAG solid state laser pumping," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 3, pp. 97-99, 1991.
- [12] C. Lindstrom, R. D. Burnham, D. R. Scifres, T. L. Paoli and W. Streifer, "One watt CW visible single-quantum-well lasers," *Electron. Lett.*, vol. 19, pp. 80-81, 1983.
- [13] C. S. Hong, J. J. Coleman, P. D.

Dapkus and Y. Z Liu, "High-efficiency, low-threshold, Zn-diffused narrow stripe GaAs/AlGaAs double heterostruc-

ture lasers grown by metalorganic chemical vapor deposition," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 40, pp. 208-210, 1982.

---

著 者 紹 介

---



孫 填 承 (準會員)

1968年 7月 15日生. 1991年 서울대 전자공학과 졸업. 1993年 포항공대 대학원 전자전기공학과 석사 학위 취득. 현재 현대전자산업주식회사 재직.

權 五 大 (正會員)

1946年 4月 15日生. 1969年 서울대 전기공학과 졸업. 1975年 Rice Univ. 전자공학과 석사. 1978年 Rice Univ. 전자공학 박사. 1978年~1979年 Cornell Univ. 레이저 분광연구실 Postdoc Fellow. 1980年~1982年 Cornell Univ. 통계물리/응용물리 연구부 선임연구원. 1982年~1986年 Dow Corp. 중앙연구소 자성체/광전자 연구부 책임연구원. 1986年~현재 포항공대 전자전기공학과 교수. 주관심분야는 양자 및 광전자공학, 광고환 및 광컴퓨팅 등임.

桂 溶 燦 (準會員)

1969年 9月 17日生. 1992年 포항공대 전자전기공학과 졸업. 현재 동대학원 전자전기공학과 석사과정.