

# 20W급 AlGaAs 레이저 다이오드 어레이의 제작

## (Fabrication of a AlGaAs High Power (~20W) Laser Diode Array)

朴炳勳\*, 孫洛辰\*\*, 裴貞勳\*, 權五大\*

(B.H.Park, N.J.Son, J.H.Bae, and O'Dae Kwon)

### 요 약

Nd:YAG 고체 레이저를 펌핑하기 위한 광원으로서 Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>As 150Å을 활성층으로 하는 레이저 다이오드 어레이를 제작하여 20W의 광출력을 얻었다. 레이저 다이오드 어레이의 구조는 100 $\mu$ m를 채널폭으로 하는 20개의 선형 어레이 구조이며, 특히 각 채널의 열특성을 좋게하기 위해서 채널간 간격을 350 $\mu$ m로 조정하였다. 코팅되지 않은 1 $\times$ 20 레이저 다이오드 어레이를 quasi-CW로 동작시켰을 때 41A에서 15.66W의 광출력을 얻었으며, 이때의 기울기 효율은 0.42W/A이었다. 그리고, 레이저 어레이의 양쪽 단면을 고반사율(95%), 저반사율(5%) 코팅을 하여 똑같은 동작 조건에서 실험하였을 때 광출력과 기울기 효율이 각각 21.18W와 0.795W/A로 향상됨을 확인하였다. 한편, 대물 렌즈와 접안 렌즈, CCD 카메라, 화상 처리 보드 등으로 구성된 near field 측정 장치를 제작하여 1 $\times$ 20 레이저 다이오드 어레이의 near field 패턴을 관측하였다.

### Abstract

We have successfully fabricated high power(~20W) laser diode arrays, which are useful for pumping Nd:YAG lasers. The laser diode array has 20 100 $\mu$ m-wide channels of which space was adjusted to 350 $\mu$ m to improve thermal characteristics. And channel width is 100 $\mu$ m. For an uncoated LD array, the output power of 15.66W has been obtained at 41A under quasi-CW operation, which results in about 0.42W/A slope efficiency. After AR(5%) and HR(95%) coatings on both facets, the output power was improved up to 21.18W at 40A under the same operation as above and the slope efficiency was 0.795W/A. On the other hand, by using a near field measurement system consisting of objective lens, eyepiece, CCD camera and image processing board, the typical near field pattern of 1 $\times$ 20 LD array was observed.

### I. 서 론

1962년에 broad area 단일 접합 형태의 반도체 다

\* 正會員, \*\* 學生會員, 浦項工科大學校 電子電氣工學科  
(Department of Electronics & Electrical Engineering, POSTECH)

※ 본 연구는 국방과학연구소(ADD) 기초 연구 과제의 지원을 받았음.

接受日字:1997年6月19日, 수정완료일:1997年10月15日

이오드 레이저가 77K에서 짧은 펄스(<10ns)로 발진한<sup>[1]</sup> 이래, 현재까지 출력이나 신뢰도, 동작 온도, 효율등 여러 측면에서 눈부신 발전이 이루어져 왔다. 고출력 레이저의 경우, 100 $^{\circ}$ C 이상에서도 동작하고 100W의 CW출력을 가지며, 50%이상의 전력 변환 효율을 갖는 단일 기판 레이저 다이오드 어레이가 개발되어 왔다<sup>[2]</sup>. 이러한 레이저의 발달로 인해 안과나 내과등 의학 분야에 쓰이는 레이저, 다른 고체레이저의 광펌핑용 광원<sup>[3]</sup>, 레이저 프린팅, 주피수 배가를 통한 청녹색 레이저 구현<sup>[4]</sup>, 짧은 펄스 레이저를 이

용한 레이저 레이다, He-Ne 레이저의 역할을 대신한 레이저 포인터, 스캐너 등 여러 분야에서 중추적인 역할을 하고 있다.

그 중에서 고체 레이저 펌핑용 광원으로는 810nm Nd:YAG 펌핑용 레이저<sup>[5]</sup>와 Er-doped fiber 증폭기 여기를 위한 980nm 레이저<sup>[6]</sup>가 많이 연구되어 왔는데 본 논문에서는 Nd:YAG 펌핑을 위한 810nm 레이저의 제작과 결과 및 near field 측정 장치의 제작과 측정 결과에 대해 고찰하겠다. 고출력 레이저에 있어서 열방출은 가장 중요한 문제이며, 외국의 경우 "bars-in-grooves"라는 packaging 기술을 이용하여<sup>[7]</sup> 고출력을 얻기도 하나, 국내에서는 본 연구진이 처음으로 시도하고 있으며 특히, 양자효율에 있어서 국외의 결과와 대등한 성능을 얻고 있다.

## II. 본 론

### 1. 제작

넓은 채널 영역에 대해 균일한 특성을 갖는 양질의 에피를 성장하기 위해서 본 실험에서는 수직형 저압 MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition)를 이용하여 활성층으로 AlGaAs를 가진 GRIN-SCH(Graded Index-Separate Confinement Heterostructure)구조를 갖는 PIN 다이오드를 성장시켰다. Nd:YAG 펌핑용 광원으로 쓰이기 위해서는 Nd:YAG의 최대 흡수 파장인 810nm에 발진 파장을 맞추는 것이 중요한데 이를위해 활성층의 Al 조성비는 0.07, 두께는 150Å으로 하였다. 이때에 사용된 Ga 소스는 TMG (trimethylgalium), Al은 TMA (trimethylaluminum), As은 AsH<sub>3</sub>(arsine)을 사용하였으며, n-dopant와 p-dopant로는 각각 SiH<sub>4</sub> (silane), DEZn(diethylzinc)를 사용하였다.

성장이 끝난 에피는 먼저 각 채널간의 절연과 전류 구속을 위해서 PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)를 이용하여 1500Å 정도의 SiO<sub>2</sub>의 절연막을 성장시켰다. 고출력 레이저 어레이의 형태는 gain-guided broad-area-stripe laser diode array 형태로서 별도의 위상 잠금 특성을 요구하지 않는 Nd:YAG 레이저의 측면 펌핑에 적합한 구조라 할 수 있다. 특히 이번 실험에서는 각 채널폭은 100μm로 고정하였지만 채널간 간격은 이전 실험<sup>[9]</sup>과는 달

리 원활한 열방출을 위해 350μm로 넓혀서 사진 작업을 하였다.

채널 형성 작업이 끝난 에피는 cleaving이 용이하고 직렬 저항을 줄여주기 위해서 100μm 두께로 lapping을 하였으며, 전류 주입을 위해서 p 전극과 n 전극을 thermal evaporator로 형성하였다. 제작이 끝난 에피는 700μm의 공진기 길이를 갖도록 cleaving하였다. 이때의 에피의 모습을 그림 1에 나타내었다.

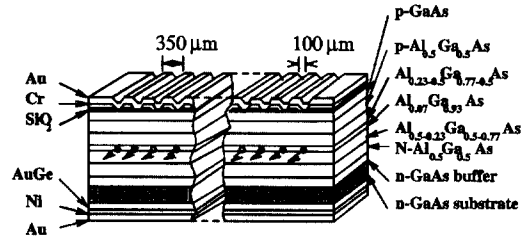


그림 1. 공정이 끝난 LD array의 모습  
Fig. 1. Schematic View of LD array.

고출력 LD array의 특성을 결정짓는 가장 중요한 공정이 바로 Die 본딩이라 하겠는데, 출력 빔의 균일성과 좋은 온도 특성을 위해서는 LD array와 submount간의 균일한 접착이 필수적이다. 그림 2에서처럼 구리 submount를 300℃로 가열하면서 그 위에 500×500μm<sup>2</sup> 크기의 AuSn preform을 LD array의 크기 정도로 편 다음, 열을 받아서 녹게 되면 tweezer를 이용하여 골고루 편다. 이때 preform의 면적이 LD array보다 크게 되면 레이저 다이오드는 short가 되어 버리므로 세심한 주의가 요구된다. LD array는 열방출이 좋도록 활성층이 submount와 가깝게 p-side를 아래로 하여 부착한다. 이제 n 전극을 형성하기 위해 미리 금을 입힌 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 패드와 LD array 사이에 wire 본딩을 해야 한다. 알루미늄 패드는 은 에폭시 type A와 B를 1대 1로 섞어서 바르고, 100℃ 오븐에 10분간 가열하여 구리 submount에 정착시킨다. 고출력 LD array는 약 40A 이상의 전류를 흘리기 때문에 그만큼 wire수도 많아야 한다. 본 실험에서는 1mil(직경25.4μm) wire로 60개 정도를 본딩하였다. Die 본딩과 wire 본딩 과정을 그림 2에 나타내었다.

제작이 완성된 LD array는 TEC(Thermo-Electric-Cooler)와 thermistor를 이용하여 온도 조절을 하고, 전류 구동기로 전류를 주입시키면서 출력을 측정하였

다. 특히 현재의 냉각 장치는 냉각수를 이용하여 장치 100W급의 고출력에 대비하도록 설계되어 있으며, 본딩 패드와 전류 구동장치간의 연결은 직렬 저항을 줄이기 위해 이전의 접촉 방식에서 납땜을 하는 방식을 택하였다.

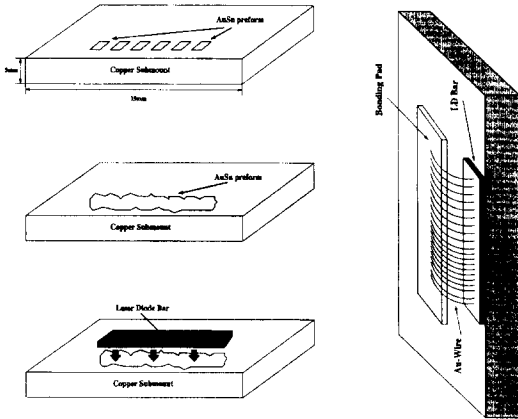


그림 2. Die 본딩과 Wire 본딩의 과정  
Fig. 2. Die Bonding & Wire Bonding.

## 2. 측정 결과

LD array의 전기적 특성을 측정하기 위해 HP-4145B Parameter Analyzer를 이용하여 다이오드 특성을 측정하였는데,  $1 \times 20$  LD array의 turn-on 전압은 1.37V이고, 직렬 저항은  $0.588 \Omega$ 이었는데 이는 이전의 결과<sup>[9]</sup>에 비해 다소 향상되었다. 또한 이상 계수를 측정한 결과 1.804로써 공평영역에서의 재결합이 우수함을 보여주고 있다.

LD array의 광출력 특성을 측정하기 위해서 펄스 폭  $50 \mu s$ , 주파수 10Hz의 quasi-CW로 동작시켰다. 광출력의 측정은 Molelectron사의 pyroelectric detector를 사용하였으며 1064nm에서 영점 조정된 것이다. 41A의 전류로 구동시켰을 때 15.66W를 얻었으며, 문턱 전류는 12A, 기울기 효율은  $0.42 W/A$ 이고 외부 양자 효율은 63.75%이었다. 한편, 광출력을 향상시키고 COD 발생을 주여주기 위한 작업으로 거울면 양단에 sputter를 이용하여  $SiO_2$ 층의 AR(5%) 코팅 및  $SiO_2/Si$  3쌍으로 이루어진 HR(95%) 코팅을 삼성종합기술원에 의뢰하여 수행하였다. 그림 3에 코팅전의 L-I 그래프와 코팅후의 L-I 그래프를 나타내었다.

코팅 전과 동일한 조건으로 LD array를 구동시켰으며 40A에서 21.18W의 광출력을 얻었고, 문턱 전류

는 11A로 다소 낮아졌으며 기울기 효율은  $0.795 W/A$ 로 향상되었다. 이는 같은 40A 전류에 대해서 코팅후에는 41%의 광출력 향상을 얻은 것이다. 그리고 온도를 바꾸어 가면서 L-I 그래프를 측정하여 각각의 문턱 전류로부터 특성 온도  $T_0$ 를 계산하였다. 계산치는 114K으로 일반적인 GaAs의 경우인 120-200K에 다소 못미치는 값을 가졌다. 이는 양자 우물의 개수를 증가시키고, 양단면의 반사율을 조정하여 개선할 수 있으리라 기대된다<sup>[10]</sup>.

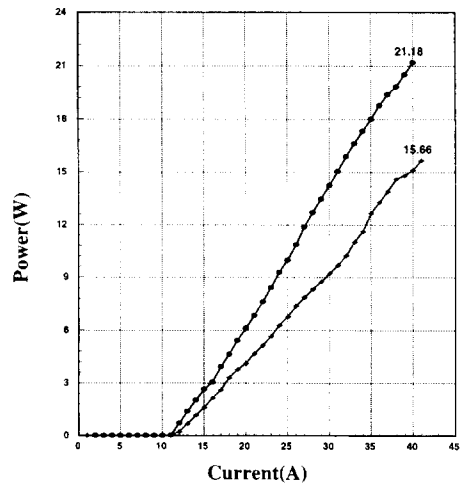


그림 3. L - I 그래프의 비교  
Fig. 3. Comparison of L-I Curves.

한편, Nd:YAG의 펄핑을 위해 LD array의 출력 파장 대역이 Nd:YAG의 최대 흡수 대역인 805~810nm에 있어야 불필요한 에너지 손실을 막을 수 있으며 보다 효율적인 펄핑이 가능하다. 스펙트럼의 측정은 Optical Spectrum Analyzer로 수행하였으며 LD array는 quasi-CW로 동작시켰다. 그림 4에서 보는 바와 같이 구조적인 특성으로 인해 다중 모드로 발진함을 알 수 있고, 최대 발진 파장은 809.65nm이다. 그리고 각 종방향간 모드 간격은  $1.5 \text{ \AA}$ 을 얻었는데 이는  $\Delta \lambda \sim \lambda^2 / 2nL$ 을 써서 구한 모드간 간격  $1.32 \text{ \AA}$ 과 거의 일치함을 알 수 있다. 또한, 온도를 변화시키면서 스펙트럼의 추이를 관찰하여 적색 편이의 양을 측정하였으며 온도 특성 계수가  $\sim 0.3 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ 로 전형적인 값이었다.

또한, LD array의 광출력 특성을 살펴보는 방법의 하나로 출력 빔의 near field를 관찰하는 것인데, 이로부터 발광 영역의 균일성, 모드의 변화, 대략적인 빔의

크기를 알 수가 있다. 또한 near field는 far field를 결정짓기 때문에 중요한 의미를 가지는 특성이다.<sup>[11]</sup>

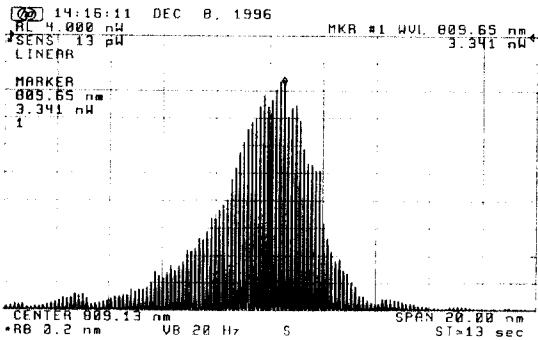


그림 4. LD array의 발진 스펙트럼  
Fig. 4. Lasing Spectrum of LD array.

본 연구에서는 이를 위해 대물 렌즈와 접안 렌즈, ND 필터, CCD 카메라, 화상처리보드등을 이용하여 빔의 사진을 pcx화일로 처리하고, 패턴을 그래프로 그릴 수 있는 장치를 고안하였다. 그림 5에 1×20 LD array의 near field 사진을 pcx화일로 처리하여 나타내었다. 그림에서처럼 18개의 채널에서 발진함을 볼 수 있는데 두 개의 채널이 발진하지 않는 이유는 sawing할 때 기계적인 스트레스가 가해져서 양쪽 가장자리 채널이 발진하지 않기 때문인데, 넓은 공간을 확보함으로써 해결가능하다.



그림 5. 1×20 LD array의 near field 패턴  
Fig. 5. Near Field Pattern of 1×20 LD array.

### III. 결 론

20W의 광출력을 갖는 고출력 레이저 다이오드 어레이를 제작하기 위해 수직형 저압 MOCVD로 에피성장시켜 gain-guided single QW GRIN-SCH 구조의 20개의 broad area 채널을 갖는 선형 레이저 다이오드 어레이를 제작하였다. 코팅되지 않은 LD array를 quasi-CW로 구동시켰을 때, 41A의 전류에

서 15.66W의 광출력과 12A의 문턱 전류, 0.42W/A의 기울기 효율을 얻었으며, AR(5%), HR(95%) 코팅한 후에는 40A에서 21.18W의 광출력과 11A의 문턱 전류, 0.795W/A의 기울기 효율을 얻었다. 이는 같은 40A에서 광출력을 비교했을 때 41% 향상된 결과이다. 그리고 스펙트럼의 측정을 통해 피크 파장이 809.2nm에 있음을 확인하였고, near field 측정을 수행하였다. 현재는 2D stacks를 이용하여 100W 광출력을 갖는 LD array에 대해 연구하고 있으며, 고출력을 갖는 단일 소자처럼 작동하는 PLA(Phase Locked Array)<sup>[8]</sup>의 연구도 병행할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [ 1 ] R.N. Hall, G.E. Fenner, J.D. Kingsley, T.J. Soltys and R.O. Calson, Phys. Rev. Lett., vol. 9, 366(1962).
- [ 2 ] W.Streifer, D.R. Scifres, G.L. Harnagel, D.F. Welch, J.Berger and sakamoto, IEEE J.Quantum Electron., QE-24, 883(1988).
- [ 3 ] Kimio Shigihara, Yutaka Nagai and Syoichi Kakimoto, J. Quantum Electron., vol. 27, 1537(1991).
- [ 4 ] V.Pruneri, R.Koch, P.G.Kazansky et al., Optics Lett., vol. 20, 2375(1995).
- [ 5 ] Yutaka Nagai, Kimio Shigihara and Akiharu Tada, IEEE Photon. Tech. Lett., vol. 3, 97(1991).
- [ 6 ] Michio Ohkubo, Tetsuro Ijichi, Akira Iketani and Tosio Kikuta, IEEE J. Quantum Electron., vol. 30, 408(1994).
- [ 7 ] A.Alan Karpinski, Photonics Spectra, p.115(1991).
- [ 8 ] Dan Botez and Luke J.Mawst, Circuits and Devices, p.25 (1996).
- [ 9 ] 손낙진, 박병훈,안정착, 배정훈,권오대 "10W급 고출력 레이저 다이오드 어레이 제작", J. KITE, vol. 33, A117
- [ 10 ] Journal of Quantum Electronics, vol. 27, p.1546.
- [ 11 ] D.R.Scifres, W.Streifer, R.D.Burnham, T.L.Paoli and C.Lindstrom, Appl. Phys. Lett., 42, 495(1983).

---

저 자 소 개

---

朴炳勳(正會員) 第 33卷 A編 第 9號 參照

孫洛辰(學生會員) 第 32卷 A編 第 10號 參照

裴貞勳(正會員) 第 33卷 A編 第 9號 參照

權五大(正會員) 第 32卷 A編 第 10號 參照

현재 포항공과대학교 전자전기공학과  
교수