

LPE에 의한 $1.3\mu\text{m}$ GaInAsP/InP DH 레이저의 제작 및 발진특성

(Lasing Characteristics of $1.3\mu\text{m}$ GaInAsP/InP DH Lasers Grown By LPE)

申東赫*, 俞泰皖*, 金弘九*, 朴正基*, 李用卓*, 洪彰禧**, 金容煥*, 姜玟鎬*

(Dong Hyuk Shin, Tae Whan Yoo, Hong Koo Kim, Jeong Gi Park,
Yong Tak Lee, Tchang Hee Hong, Yong Hwan Kim and Min Ho Kang)

要 約

Double-heterostructure 구조의 $1.3\mu\text{m}$ GaInAsP/InP 웨이퍼를 LPE 기술로 성장시키고, 전면전극 (broad contact) 레이저 다이오드를 제작, 실온에서 펄스 발진시켜 전기적 및 광학적 특성을 조사하였다. 발진 개시전류는 2Amp. 이하, 발진개시전류밀도 3~6 KAm²/cm²였으며, 파장 $1.315\mu\text{m}$ 에서 발진하는 것을 확인하였다.

Abstract

$1.3\mu\text{m}$ double-heterostructure GaInAsP/InP wafers have been grown by LPE and broad contact laser diodes have been fabricated. Electrical and optical characteristics of these lasers under pulsed lasing operation at room temperature are described. Typical threshold currents are below 2 Amp. corresponding to threshold current densities of 3 - 6 KAm²/cm² and peak lasing wavelength is shown to be at $1.315\mu\text{m}$.

I. 序 論

InP 기반에 격자정합된 GaInAsP 4 원 반도체는 그 조성을 변화시키에 따라 파장 0.92~ $1.67\mu\text{m}$ 에 해당하는 에너지 갭을 갖는다. 이러한 파장 대역은 광통신 시스템에 사용되는 파장이 GaAlAs/GaAs의 발진파장인 0.82~ $0.85\mu\text{m}$ 의 단파장 대역으로부터 광섬유의 대역폭이 최대가 되는 $1.3\mu\text{m}$ 과 광섬유의 손실이 최소인 $1.55\mu\text{m}$ 등의 장파장 대역으로 전환되는 추세임으로 인

해 중요시 되고 있으며, 장파장 대역에 가장 적합한 재료인 GaInAsP/InP 계가 집중적으로 연구되고 있다. 따라서 일부 선진국에서는 이미 GaInAsP/InP LED, 레이저 다이오드(LD), detector 등이 상용화 단계에 들어서고 있으며 GaInAsP/InP LD의 추정수명도 10만 시간을 돌파하는 등 급진전을 보이고 있다.¹⁾

한편 국내에서는 GaAlAs/GaAs의 single-heterostructure (SH)²⁾ 및 double-heterostructure (DH)³⁾ LD의 발진에 성공한 바 있으며, GaInAsP/InP계는 최근들어 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 LPE(Liquid Phase Epitaxy) 방법으로 GaInAsP/InP DH 웨이퍼를 성장시키고 전면전극 LD를 제작하여 실온에서 펄스 발진에 성공하였으며, 발진개시전류 2 Amp. 이하, 발진개시전류밀도 3~6KAm².

*正會員, 韓國電子通信研究所 (ETRI) 光通信 開發部
(Dept. of Optical Comm. Systems Dept., ETRI)

**正會員, 韓國海陽大學 電子通信工學科
(Dept. of Electron. Comm., Korea Maritime Univ.)

接受日字: 1985年 3月 4日

/cm², 발전파장은 1.315 μm임을 확인하였다.

LPE 성장방법, 격자정합 등은 추후 보고 할 예정이며 본 논문에서는 주로 발전 특성에 대해 보고하고자 한다.

II. 실험구성

1. GaInAsP/InP DH 웨이퍼 성장

GaInAsP/InP DH 웨이퍼의 LPE 성장시 성장재료의 조성 결정에 필요한 phase diagram 계산에 관해서는 이미 보고된 바 있다.¹⁴ 이 성장방법은 성장재료의 포화 온도보다 10°C 만큼 과냉각 되도록하여 2-phase supercooled method¹⁵를 사용하였고 0.2°C/min의 rate로 ramp-cooling 하면서 630°C에서 active layer를 성장시켰다. 사용된 기관은 (100)-InP 단결정 웨이퍼로 EPD ≤ 500이며, 6N 순도의 수소분위기 속에서 성장시켰다.

그림 1은 성장된 DH웨이퍼의 단면을 KOH : K₂Fe(CN)₆ : H₂O = 4gm : 6gm : 50cc의 etchant로 30초간 에칭하여 관찰한 것으로, InP 기관 위에 InP buffer layer, GaInAsP active layer, InP confining layer가 각각 5 μm, 0.5 μm, 2 μm의 두께로 성장된 것을 보여 준다.

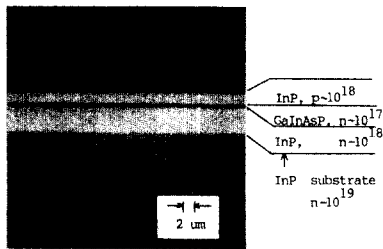


그림 1. 성장된 DH 웨이퍼의 단면(1500X)
Fig. 1. Cross-section of LPE grown DH wafer (1500X).

2. 전면전극 LD 제작

성장된 DH 웨이퍼는 LD의 series resistance를 줄이고, mirror facet 형성을 위한 cleaving을 용이하게 하기 위해 기관 아래쪽을 lapping 하여 두께 100~150 μm으로 만든 다음, p-side에 Au-Zn, n-side에 Au-Sn을 진공증착하여 ohmic contact를 형성하였고, 수소 분위기 속에서 420°C로 2분간 annealing하였다.

3. 펄스 발전 실험

전면전극 레이저의 경우 과도한 주입전류에 의한 온도상승으로 인하여 실온에서 연속발전이 불가능하

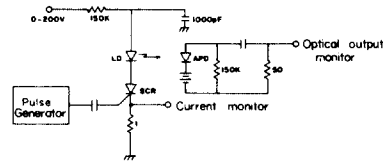


그림 2. 레이저 펄스 구동회로 및 광검출 회로
Fig. 2. Laser pulse driver and detector circuit.

로 SCR을 이용하여 그림 2와 같은 레이저 driver 회로를 제작하고 pulse generator를 trigger로 사용하여 LD를 구동하였다. 레이저 driver의 성능은 0~100 KHz의 주기로 폭 20nsec 펄스를 발생하며, 사용가능 전류는 0~8 Amp.까지 연속가변이 가능하다. 실제 LD 구동은 펄스 폭 20nsec, 주기 5 KHz로 하여 0.01%의 낮은 duty로 동작시킴으로써 LD의 온도상승을 방지하여 실온에서의 동작을 가능케 하였다.

Ohmic contact가 형성된 DH 웨이퍼는 레이저 cavity의 길이가 200~400 μm이 되도록 cleaving한 다음, 구리에 금도금하여 제작한 heatsink 겸 LD 마운트 위에 부착하여 실온, 대기중에서 실험하였다. 광검출기로는 cutoff frequency가 4 GHz인 Ge-APD를 사용하였고, 기타 실험장치로는 스펙트럼 측정용 SPEX 1209 spectrometer, I-L 특성 측정에 bandwidth 10GHz의 sampling scope, 그리고 optical output power 측정을 위해 anritzu ML93A power meter 등을 사용하였다.

III. 실험 결과

그림 3은 제작된 GaInAsP/InP LD의 forward I-V 특성을 상용 LED의 forward I-V 특성과 함께 나타낸 것으로, 원점에서부터 우측 상단의 것이 상용 LED, 좌측 하단의 것이 LD의 forward I-V 특성 곡선을 보여주고 있다. (X축과 Y축의 한 눈금은 각각 1 Volt

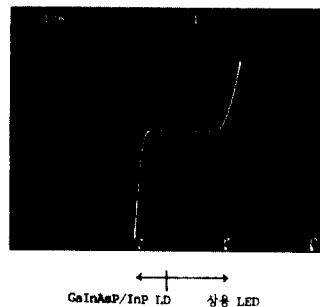


그림 3. GaInAsP/InP LD 및 상용 LED의 forward I-V 특성
Fig. 3. Forward I-V characteristics of GaInAsP/InP LD and commercial LED.

와 10mA를 나타낸다.) 그림에서 보여주는 바와 같이 제작된 LD의 ohmic 특성은 상용 LED보다 양호하다는 것을 알 수 있다. built-in potential은 약 0.7V로 p-n junction이 원하는 대로 $E_g = 0.92\text{eV}$ 인 active layer 내에 형성되어 있음을 알 수 있고, 미분저항 R_d 는 약 5Ω 정도이다.

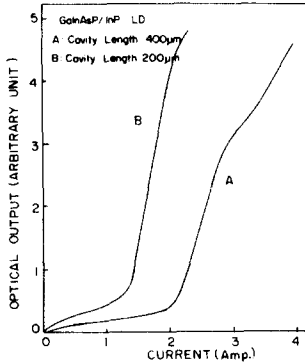


그림 4. 광출력 대 전류(I-L) 특성
Fig. 4. I-L characteristics.

그림 4는 주입전류 대 광출력, 즉 I-L 특성을 나타낸 것이다. I-L curve A는 cavity 길이가 $400\mu\text{m}$ 인 LD, I-L curve B는 cavity 길이가 $200\mu\text{m}$ 인 LD의 특성을 나타낸 것이다. power meter를 사용하여 측정된 광출력은 $I = 1.2\text{Ith}$ 에서 약 20mW 정도이다. 발진개시전류는 각각 2.0Amp., 1.2Amp.이며 이는 ohmic contact의 폭이 $100\mu\text{m}$ 정도이므로 전류밀도로 약 $3\sim 6\text{KAmp./cm}^2$ 에 해당된다. 이런 정도의 발진개시 전류밀도는 Yamamoto, Sakai, Akiba, Suematsu¹⁰⁾의 결과와 비교해 볼 때 상당히 낮은 수준이므로 기성장된 DH 웨이퍼에 폭 $10\mu\text{m}$ 이하의 stripe contact를 만들어 준다면 충분히 CW 발진이 가능할 것으로 추정된다. I-L curve A에서 kink가 있는 것은 전면전극 레이저이므로 전류를 증가시키기에 따라 초기 발진 모드 이외에 새로운 transverse mode가 여기되기 때문이며, 이러한 문제를 해결하기 위해서도 stripe geometry 레이저의 제작이 필요하다.

그림 5는 cavity 길이가 $200\mu\text{m}$ 인 GaInAsP/InP 전면전극 레이저의 optical spectrum을 $I = 1.15\text{Ith}$ 에서 조사한 것으로 peak 파장이 $1.315\mu\text{m}$ 이며, 모드 간격은 약 11\AA 으로 이는 레이저 cavity 구조로부터 계산한 모드 간격과 일치한다.

그림 6은 주입전류를 $I = 0.97\text{Ith}$ 에서 1.15Ith , 1.37Ith , 1.82Ith 로 변화시키면서 spectrum의 변화를 조사

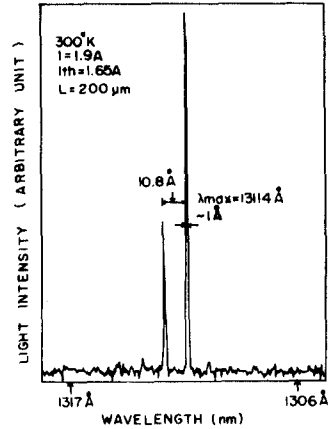


그림 5. $I = 1.15\text{Ith}$ 에서의 발진 스펙트럼
Fig. 5. Lasing spectrum at $I = 1.15\text{Ith}$.

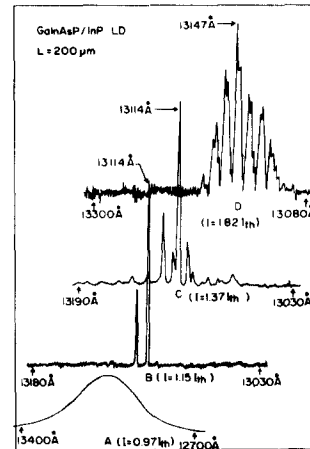


그림 6. 주입전류에 따른 발진 스펙트럼
Fig. 6. Lasing spectrum at various injection currents.

한 것이다. 그림 6의 A는 발진개시 직전의 spontaneous emission에 의한 것으로 LD의 gain peak가 파장 $1.3\mu\text{m}$ 을 중심으로 분포한 것을 보여 주며, B는 $I = 1.15\text{Ith}$, C는 $I = 1.37\text{Ith}$ 에서의 발진 모드이며, D는 $I = 1.82\text{Ith}$ 에서의 특성이며 이는 그림 4의 특성 B에서 $I = 2\text{Amp.}$ 이상에서의 만곡 부분에 해당하는 전류 값으로, side mode가 다수 발생하고 있음을 보여 주고 있다.

IV. 검토 및 결론

현재까지 제작하여 실험에 사용한 GaInAsP/InP LD는 stripe contact가 아닌 전면전극 레이저이므로 발

진하기 위해서는 다량의 전류를 주입하여야 하며, 이에 따른 온도상승으로 인해 실온에서는 연속발진이 불가능하고 따라서 낮은 duty의 펄스로 구동하여 실온에서 발진시켰다. 이러한 pulse 발진에서는 정확한 발진개시전류밀도 산출이 곤란하지만 대략 3~6KAmp./cm²에서 발진이 시작되는 것으로 추산되며, 이러한 정도의 발진개시 전류밀도라면 stripe 전극 제작시 충분히 상온 연속 발진이 가능할 것으로 예측된다.

레이저의 수명과 신뢰도에 중대한 영향을 미치는 ohmic contact는 현재 전면전극에서 5Ω 수준인 것을, stripe 전극에서 실용 소자 수준인 1~2Ω으로 낮추기 위해 전극증착재료, 증착방법 및 annealing 방법 등의 개선이 이루어져야 하겠다.

발진파장 1.315μm에서 peak output 광출력은 약 50~60mW이며, I=1.2 Ith에서 약 20mW 정도로 추산된다.

한편 성장된 DH 웨이퍼의 표면 morphology와 함께, InP에 격자정합된 1.3μm GaInAsP 계의 phase diagram 계산결과를 이용하여 1.315μm의 파장에서 발진하는 LD를 얻었다는 사실로 미루어, 격자정합도 거의 이루어졌다고 볼 수 있으나, 정확한 lattice mismatch의 크기를 알기 위해 X-ray 회절에 의한 분석이 요구된다.

參 考 文 獻

- [1] H. Imai, N. Morimoto, H. Ishikawa, K. Hori, and M. Takusagawa, *Accelerated Aging Test of InGaAsP/InP Double-hetero-Structure Laser Diodes With Single Transverse Mode*. Appl. Phys. Lett. 33, pp. 16-17, 1981.
- [2] 최병두 외, 한국물리학회 추계 학술대회 논문집, 1982.
- [3] 김영상, 김종세, 전덕재, 서중욱, 권영세, "LPE에 의한 stripe 구조의 GaAlAs/GaAs DH LD 제작", 대한전자공학회 추계종합 학술대회 논문집, vol. 7, no. 2, pp. 393~395, 1984.
- [4] 신동혁, 유태환, 이용탁, 홍창희, "GaInAsP/InP의 LPE 성장을 위한 phase diagram 계산", 대한전자공학회 추계종합 학술대회 논문집, vol. 7, no. 2, pp. 396~399, 1984.
- [5] A.S. Jordan and M. Illegems, *Solid-liquid Equilibria for Quarternary Solid Solutions Involving Compound Semiconductors in the Regular Solution Approximation*. J. Phys. Chem. Solids, 36, pp. 329-342, 1975.
- [6] E. H. Perea and C. G. Fonstad, *Phase Diagram Calculations for InGa PAs Lattice Matched to (111-B) InP, in the Temperature Range 600-660°C*. J. Appl. Phys., 51, pp. 331-335, 1980.
- [7] K. Nakajima, T. Kusunoki, K. Akita, *InGaAsP Phase Diagram and LPE Growth Conditions for Lattice Matching on Inp*. Fujitsu Sci. Tech. J., 16, pp. 59-83, 1980.
- [8] W. Benyon, *BNR internal report*, 1983.
- [9] K. Sakai, S. Akiba, and T. Yamamoto, *Growth of Lattice Matched InGaAsP/InP Double-Heterostructures by the Two-Phase Supercooled Solution Technique*. Japan. J. Appl. Phys., 16, pp. 2043-2044, 1977.
- [10] T. Yamamoto, K. Sakai, S. Akiba, Y. Suematsu, *InGaAsP/InP DH Lasers Fabricated on InP (100) Substrates*. IEEE J. QE-14, pp. 95-98, 1978.