

MOCVD법에 의한 (Ga, Al) As /GaAs 변형된 양자우물 레이저 다이오드의 제작

(The Fabrication of (Ga, Al) As /GaAs Modified Multi-Quantum Well Laser Diode by MOCVD)

金貞珍,** 姜明敎,* 金湧,** 嚴慶淑,** 閔碩基,** 吳煥述**

(Chung Jin Kim, Myung Ku Kang, Yong Kim, Kyung Sook Eom,
Hwan Sool Oh, and Suk Ki Min)

要 約

대기압 MOCVD 법을 이용하여 AlGaAs /GaAs 변형된 다중 양자우물 구조를 에피 성장하여 일련의 제작 공정을 거쳐 Stripe type의 레이저 다이오드를 제작하였다. 또한, GaAs /AlGaAs 온격자 구조를 성장시켜 shallow angle lapping technigue의 DCXD PL 측정을 통해 주기성, 계면의 급준한, Al 조성의 균일성, 각각의 layer 두께를 추정하였다. 제작된 변형된 다중 양자우물 구조의 레이저 다이오드의 전기적, 광특성을 종합해 볼 때, 1-V 측정에서 직렬 저항은 $1\Omega \sim 2\Omega$ 로 양호하였으며 타 특성에서 발진개시 전류가 200~300mA이며, 발진 발상이 8000~8400 Å으로서 양자우물 구조임을 알 수 있었다. 이 특성들은 수치상 높은 값은 아니다. 레이저 다이오드의 JS(junction stripe) 구조가 갖는 임계성을 포함하여 고려한다면 좋은 성과라고 할 수 있다.

Abstract

The Modified Multi-Quantum Well(MMQWAl) structures have been grown by Metal-Organic chemical Vapor Deposition(MOCVD) method and stripe type MMQW laser diodes have been investigated. In the case of GaAs /AlGaAs superlattice and quantum well growth by MOCVD, the periodicity, interface abruptness, Al compositional uniformity and layer thickness have been confirmed though the shallow angle lapping technique, double crystal x-ray diffractometry (DCXD) and photoluminescence (PL) measurement. stripe-type MMQW laser diodes have been fabricated using the process technology of photolithography, chemical etching, ohmic contact, back side removing and cleaving. As the result of the electrical and optical measurement of these laser diodes, we have achieved the series resistance of $1\Omega \sim 2\Omega$ by current - voltage measurements, the threshold current of 200~300mA by current - light measurements and the lasing wavelength of 8000~8400 Å by lasing spectrum measurements.

*正會員, 現代電子 光電子研究室
(Optical Electronics Lab., Hyundai Electronic)
接受日字: 1992年 1月 21日

**正會員, 建國大學校 電子工學科
(Deop. of Elec. Eng., Konkuk Univ.)

***正會員, 韓國科學技術研究院 半導體 材料 研究室
(Semiconductor Materials Lab. KIST)

I. 서 론

현재 광통신이나 고속 정보처리 시스템 등에 응용되고 있는 반도체 레이저는 소형 경량이고, 효율이 높으며, 전류에 의한 직접변조가 가능하며, 소비전력이 작은 점등의 여러 장점때문에 그 중요성이 크게 증가하고 있다. 반도체 레이저는 1953년 Jhon Von Nermann이 레이저 재료로서 반도체를 최초로 제안하고부터 유도방출조건 이론의 성립과 발광효율이 높은 것에 착안하여 1962년에 반도체 레이저 제작에 성공하였다.^[1] 1970년대에는 헤테로 접합구조의 도입으로 실온 연속 발진에 성공하게 되었다.^{[2][3]} 그 후로 기하학적 구조를 변형하고 물질적 상태를 다양화함으로써 전-광변환 효율의 증대, 신뢰도 및 모드안정화 그리고 고출력을 갖는 레이저 다이오드(Laser Diode) 구현을 위해 많은 연구를 계속하여 오면서 임계 전류를 낮추고 주입 캐리어와 방출된 빛을 활성층의 좁은 부분에 제한해주는 스트라이프 구조가 1974년에 제안되었다.^{[4][5]}

한편, MBE(Molecular Beam Epitaxy)와 MO-CVD(Metal-Organic Chemical Vapor Deposition) 등 에피 결정성장 기술의 발전에 따라 활성층 두께가 de Broglie 파장이이하가 됨으로써 발생하는 양자효과를 응용한 양자우물 레이저는 1975년 Van der Ziet에 의해 MBE방법으로 처음 제작된 이래로 MOCVD에 의한 양자우물레이저 제작의 시도와 물리적 개념의 이해에 대한 연구들이 계속 수행되어왔다.^{[6][7]} 일반적인 헤테로 접합구조 레이저인 경우보다 임계 전류밀도가 낮은 실험결과가 나오면서 본격적인 양자우물 레이저의 개발은 여러종류의 III-V화합물 반도체계로 만들면서, 특히 GaAs계 양자우물 레이저는 실용화 단계에 이르고 있다. 양자우물 레이저는 임계 전류밀도를 낮출 수 있다는 점 뿐만아니라 양자효율, 출력, 변조 대역폭, 잡음, 신뢰도등 제반특성이 우수한 특성이 있다는 연구결과가 있다.^{[8][9][10]}

본 연구에서는 MOCVD법에 의한 다중 양자우물 레이저 구조의 성장과 성장특성을 기술한 후 변형된 다중 양자우물 레이저 다이오드를 제작하여 전류-전압 특성, 광-출력 특성, 발진파장 특성을 고찰하였다.

II. 실험 방법

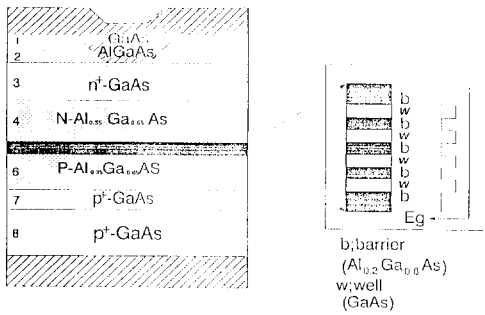
1. 변형된 다중 양자우물 구조의 성장

기판은 Zn이 도핑된 (100)면 p⁺-GaAs 웨이퍼를 사용하였다. 1.5cm×1.5cm의 크기로 잘라서 T, C, E, Aceton, Methanol 순서로 깨끗이하여 유기물을 제거

하고 D. I water로 행군 후, H₂SO₄:H₂O₂:H₂O를 6:1:1로 혼합한 용액에 상온에서 1분 정도 에칭하였다. 그 후 D. I water로 행구고 질소가스로 불어서 말린 다음 MOCVD 반응관(reactor)에 장입하였다. 수소로 반응관을 깨끗이한 후 온도를 올리면서 온도가 400°C 이상이 되면 AsH₃을 같이 유입시켜 기판에서 As이 해리되는 것을 방지한다. 온도를 750°C 까지 올린 다음 TMG, TMA, DEZ bubbler로, MFC로 유량 제어된 수소를 유입시키고 약 10분동안 배기(vent)시켜 반응 가스의 유량을 안정화하였다. 변형된 다중 양자우물 레이저 다이오드 구조의 에피층을 그림 1에 설계한 대로 불순물, 도핑정도 및 두께를 조절해 가면서 성장하였다. 활성층이 다중 양자우물 구조를 갖는 스트라이프형 레이저 다이오드 구조의 각 에피층은 다음과 같다. 기판에 있는 불순물이나 결정결함이 중심구조까지 누출되는 것을 방지하고 표면현상이 좋도록 하기 위해 Zn이 도핑된 GaAs buffer layer를 0.5 μ m 성장시킨 다음 Zn이 도핑된 P-Al_{0.35}Ga_{0.65}As cladding layer를 1 μ m 성장시키고 에피층의 두께가 전자의 de Broglie 파장이이하가 되면 에피층에 수직인 방향으로의 전자의 운동이 2차원 속박에 의한 양자화 현상이 생기게 하기 위해서, 그리고 광 구속계수를 향상시키기 위하여 50Å undoped Al_{0.2}Ga_{0.8}As의 Coupling Barrier 4층과 35Å undoped GaAs의 Quantum Well 5층을 MQW active layer층으로 성장하였다. 그 층위에 Se이 도핑된 n-Al_{0.35}Ga_{0.65}As cladding layer를 1 μ m 성장시킨 뒤 아래의 에피층을 보호하고 ohmic 특성을 향상시키기 위해 n⁺-GaAs ohmic layer를 성장시키고 Reverse bias isolation에 의한 스트라이프 패턴형성을 위해 n⁺-GaAs 위에 undoped AlGaAs, undoped GaAs층을 연속적으로 성장하였다. 이때 스트라이프 패턴 이외의 부분은 역방향 바이어스가 걸려 전류의 흐름이 차단되고 스트라이프 패턴부분으로만 전류가 흐르게 된다. 표 1과 그림 1은 본 연구에서 설계와 제작된 레이저 다이오드 LD86의 성장조건 및 성장시킨 stripe 형 레이저 다이오드의 수직 단면 구조이다.

2. stripe형 레이저 다이오드 제작과정

Reverse bias isolation 방법에 의한 스트라이프 패턴을 형성하기 위해 undoped GaAs /AlGaAs층을 성장하였으므로 photolithography와 습식 에칭으로 스트라이프 패턴을 형성하였다. 마스크는 일반적인 Cr 마스크를 사용하여 제작하였다. 스트라이프 폭은 2, 6, 10, 20 μ m와 어레이(Array) 스트라이프 패턴으로 구성하였고, 각 스트라이프 패턴간의 간격은 300 μ m가 되게



| | DOPANT | DOPING (cm ⁻³) ₁₅ | THICKNESS (μm) |
|---|--------|---|-------------------|
| 1 | . | 1×10 ¹⁶ | 0.1 |
| 2 | . | 1×10 ¹⁶ | 0.5 |
| 3 | Se | 1×10 ¹⁸ | 0.5 |
| 4 | Se | 5×10 ¹⁷ | 1 |
| 5 | . | 1×10 ¹⁵ | . |
| 6 | Zn | 5×10 ¹⁷ | 1 |
| 7 | Zn | 1×10 ¹⁶ | 0.5 |
| 8 | Zn | 1×10 ¹⁸ | . |

그림 1. 변형된 다중 양자우물 레이저 다이오드의 단면구조

Fig. 1. Schematic crosssection of modified multi-quantum well laser diode.

표 1. 변형된 다중 양자 우물 레이저 다이오드의 성장조건

Table.1. Growth conditions of modified multi-quantum well laser diode.

MMQW LD1 GROWTH DATA

Date : 90.09 Temp : 750°C
 Structure : MMQW LD Reactor : Hot Wall
 Substrate : p⁺ - GaAs

| Layer no. | H ₂ (lpm) | TMG (cpm) | TMA (cpm) | AsH ₃ (cpm) | Dopant (cpm) | Time (min) |
|-------------|----------------------|-----------|-----------|------------------------|--------------|------------|
| 1 | 4 | 0.2 | | 10 | 7 | 10 |
| 2 | 4 | 0.2 | 0.117 | 15.4 | 7 | 15 |
| 3 | 4 | 0.2 | | 6.4 | | 3s |
| 4 | 4 | 0.2 | 0.05 | 6.4 | | 3s |
| no. 3,4 x 4 | | | | | | |
| 5 | 4 | 0.2 | 0.117 | 6.4 | 29.5 | 15 |
| 6 | 4 | 0.2 | | 6.4 | 15 | 10 |
| 7 | 4 | 0.2 | 0.117 | 6.4 | | 10 |
| 8 | 4 | 0.2 | | 6.4 | | 2 |

Surface : good
 Thickness : 1μm / 15min.
 Remark : Al composition, X=0/37

하였다. 성장시킨 시료를 T. C. E(Trichloroethylene : CICH : Cl₂), Aceton(CH₃COCH₃), Methanol(CH₃OH)에 각각 10분동안 boiling한 뒤 D. I(Deionized) water로 세척하고 질소로 불어서 물기를 제거하였다. 그 다음 수분제거를 위해 200°C oven에 10분동안 baking하고 spinner에 5000 rpm에 50초 동안 P. R 4210으로 coating한 뒤 95°C oven에서 15분 동안 baking하여 PR내의 용매를 일부 휘발시킨다. 이 시료를 실온에서 식힌 후 UV(자외선 : ultra violet), contact형 Aligner(모델명 : karlsuss MJB 3UV 300)에 마스크를 장착하고 그 아래 시료를 contact시킨 후 50초 동안 노출시켰다. 이 시료를 현상액(Developer) AZI20 : D. I H₂O를 1 : 3으로 희석한 용액에 현미경으로 관찰해 가면서 60초 가량 현상시켰다. 다시 시료를 85°C oven에 5분 가량 baking을 하여 PR의 손상으로 패턴이 망가지는 것을 방지하기 위해 PR를 단단하게 하였다. Photolithography공정을 거친 뒤 chemical wet etching방법을 사용하여 에칭을 하였다. 에칭용액이 H₃PO₄ : H₂O₂ : D. I H₂O를 1 : 1 : 20으로 혼합한 용액을 사용하여 에칭속도가 분당 2200~2400Å으로 에칭하였다. 이때 단면 관찰 및 증착 속도로 에칭깊이를 설정한 후, 3분 동안 에칭용액을 교반해 가면서 습식 에칭하였다. 스트라이프형 레이저 다이오드를 제작할 경우 레이저 공진기의 거울면 역할을 하는 잘린 면이 {110}면인 것을 고려하면 스트라이프 방향이 <110> 방향이 되어야 한다. GaAs결정구조상의 특성때문에 이등방성(anisotropic)에칭현상이 나타나므로 스트라이프 방향은 trapezoidal etching profile이 나타나는 [011]방향으로 만들어 스트라이프 위의 금속과 그 이외의 부분의 금속과 연결되어 전극으로서의 작용을 할 수 있게 하였다. 스트라이프 에칭이 끝난 웨이퍼를 T. C. E, Aceton, Methanol로 깨끗히 한 후 산화막 제거 및 금속접촉을 향상시키기 위해 NH₄OH : D. I H₂O = 1 : 10의 혼합된 용액으로 2~3분 동안 에칭하고, 진공 증착기에 웨이퍼를 장착하였다. 진공도가 6×10⁻⁶ torr에서 AuGe합금(12wt. %) / Ni / Au를 각각 500Å / 450Å / 4500Å을 연속적으로 증착하였다. 그리고 저항특성과 접착성을 향상시키기 위해 open tube형 furnace에 450°C, Ar분위기 상태에서 5분동안 열처리하였다.

레이저 다이오드의 광 출력효율을 향상시키기 위해서는 다이오드의 직렬저항(series resistance)이 적어야 하며 잘린 면에 거울면이 형성되어야 한다. 따라서 시료 뒷면, 즉 기판(substrate)을 얇게하여 불필요한 저항 성분을 제거하여 cleaving이 용이하도록 하였다.

연마(Lapping)은 mount에 n⁺-type ohmic contact된 부분을 완전히 밀착되게 붙인 후 균일한 유리판에 연마 필름을 붙이고 D. I water를 흘리면서 mechanical lapping을 한다. 이때 사용한 연마 필름은 알루미늄 grit size가 30 μ m, 5 μ m, 3 μ m짜리를 차례로 사용하면서 표면의 scratch를 제거하였다. 연마 이후에는 연마된 시료의 표면에 알루미늄 grit들이 박혀 있을 수 있으며 잔류 stress가 있으므로 이렇게 손상받은 부분을 제거하기 위해 H₃PO₄:H₂O₂:H₂O가 1:8:1로 혼합된 용액을 사용하여 10분간 polishing etching하여 40 μ m정도를 제거하였다. Back side removing가 끝난 시료를 떼어서 T. C. E., Aceton, Methanol순으로 boiling하여 cleaning한 후 즉시 표면처리를 위해 NH₄OH : D. I H₂O=1:10의 용액에 에칭하여 진공도 6x10⁻⁶torr의 진공 증착기에 Cr/Au를 각각 100 \AA /450 \AA 씩 진공 증착하였다.

p-type ohmic contact이 끝난 시료를 현미경 아래서 수술칼을 이용하여 공진기 길이가 100~500 μ m이고 폭이 300 μ m가 되게 cleaving하였다. 이때 공진기 기울면이 번지나 GaAs가루등이 달라 붙지 않게 주의하면

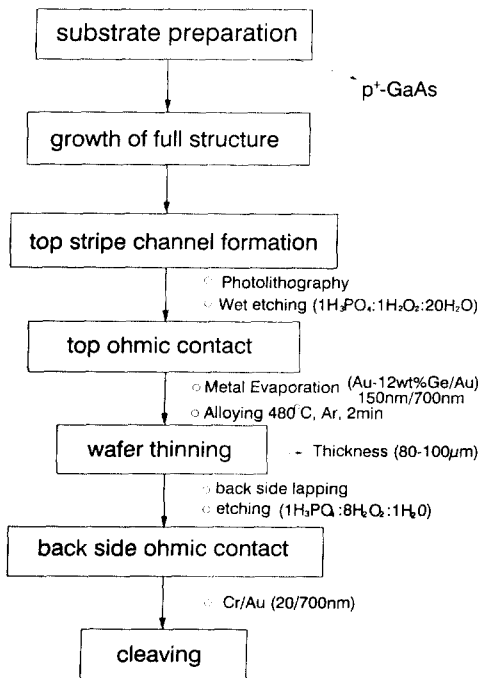


그림 2. 스트라이프형 레이저 다이오드의 제작과정

Fig. 2. List of procedures in fabricating stripe-contact laser diode.

식 레이저 다이오드 칩 하나씩 test mount에 장착하여 전류-전압특성, 전류-광출력특성, 발진파장을 측정하였다. 그림 2는 stripe형 레이저 다이오드의 제작과정의 순서도이다.

3. 초격자의 단면관찰

성장한 초격자를 평가하는 가장 일차적인 수단은 초격자 단면을 직접 관찰하는 것이다. 본 연구에서는 특별한 장비가 필요없고 100 \AA 정도의 두께는 쉽게 관찰할 수 있는 경사연마법에 의하여 θ 가 34arcmin. 가 되게 경사연마 하여 100배 확대 효과가 일어나게 하고 clorox로 stain etching 하여 각층의 경계면이 뚜렷해지게 한 다음 Nomarski phase constant microscope로 초격자의 단면을 관찰하였다. 그림 3(a)은 Al_{0.6}Ga_{0.4}As층 360 \AA , GaAs층 640 \AA 두께를 가진 총 25주기의

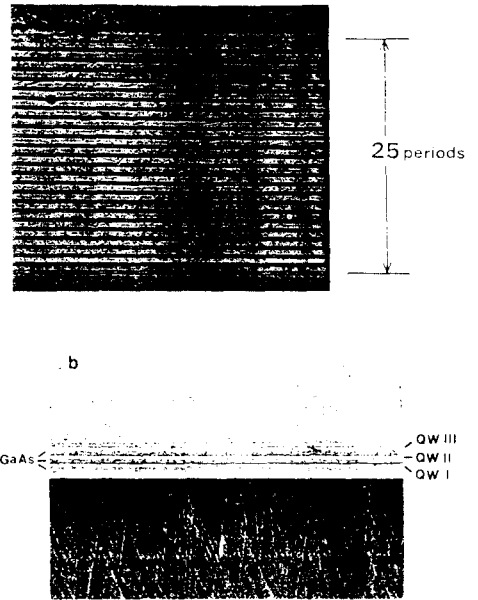


그림 3. 초격자 및 양자우물 경사연마 사진
(a) 25주기 GaAs /Al_{0.6}Ga_{0.4}As의 초격자 구조
(b) 3개의 고립 양자우물을 가진 구조의 경사연마 사진

Fig. 3. Crossectional microphotograph of the shallow angle lapped superlattice and quantum well.
(a) Crossectional microphotograph of GaAs /Al_{0.6}Ga_{0.4}As superlattice with 25 periods,
(b) Microphotograph of the shallow angle lapped rosection of a structure with 3 isolated quantum wells.

초격자의 단면 사진으로서 각각의 경계면이 급준하고 각 GaAs층과 AlGaAs 층의 두께가 균일함을 알 수 있다. 그림 3(b)는 우물두께가 각각 60Å, 100Å, 200Å인 IQW(isolated quantum well)의 단면이다. 경사연마의 기술적 문제로 인하여 우물층 두께가 명확히 비교되지 않지만 그 존재는 확인할 수 있다. 이때 장벽층의 Al 조성은 0.3으로 하였고 그 두께를 500Å로 하여 우물에 갇혀있는 전자의 파동 함수가 고립되게 하였다.

4. DCXD에 의한 초격자의 구조평가

경사연마에 의한 초격자 단면관찰은 초격자를 구성하고 있는 AlGaAs 조성이 모두 균일한 가 또한 각 GaAs 층과 AlGaAs 층들이 서로 완전히 같은 두께인 가를 정량적으로 확인할 수 없지만 DCXD(double crystal x-ray diffractometry) 측정에 의하여 이를 확인할 수 있다. 다층의 GaAs / AlGaAs 초격자 구조를 DCXD로 측정할 경우 x-ray rocking curve에는 structure factor와 strain의 주기적 변조에 의하여 단층의 AlGaAs 층의 x-ray rocking curve와는 달리 satellite reflection pattern이 나타난다. 즉 0차 satellite reflection을 중심으로 angle이 큰 쪽으로 +1, +2, +3 ..., 작은 쪽으로 -1, -2, -3...의 등간격 satellite reflection이 나타나며 고차 satellite reflection으로 갈수록 그 intensity는 급격히 감소한다. Satellite reflection pattern의 해석으로 부터 우선 조성 균일성 및 주기 균일성을 확인할 수 있고 이로부터 초격자의 품질여부를 판별할 수 있으며 AlGaAs 층과 GaAs 층의 두께 및 AlGaAs 층의 Al 조성 등 초격자의 가장 중요한 설계 파라미터를 비파괴적으로 결정할 수 있다. 본 연구에서는 결함밀도가 없는 Si(100) 결정을 제1결정으로 하고 이 결정의 (400) 반사면을 이용하여 입사된 x-선을 단색화하여 CuKα1을 얻어 이를 시편의 (400)면에 반사시켜 x-ray rocking curve를 측정하였다. 즉 본 연구의 DCXD의 geometry는 non-dispersive(+, -)geometry이다. 그림 4는 32주기의 GaAs / Al_{0.6}Ga_{0.4}As 초격자 구조의 x-ray rocking curve이다. 이 x-ray rocking curve에는 ±1satellite reflection이 관측되었다. 이 보다 고차 reflection은 그 intensity가 약해져 측정 한계를 벗어 나기 때문에 측정되지 않는 것이라 생각된다. GaAs층 (well)두께를 d_w, AlGaAs층 (barrier)두께를 d_B라 하면 이 satellite reflection의 간격, Δωs는 다음과 같은 관계가 있다.

$$\Delta\omega s = \gamma \sin\theta_B / d_p \sin 2\theta_B \quad (1)$$

여기서 γ는 CuKα1의 파장, θ_B는 GaAs(400) 반사

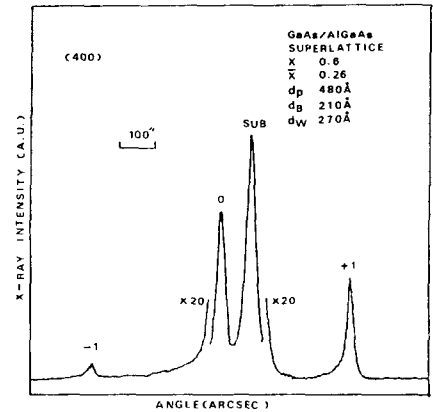


그림 4. 32주기 GaAs / Al_{0.6}Ga_{0.4}As 초격자의 x-ray rocking curve

Fig. 4. X-ray rocking curve of GaAs / Al_{0.6}Ga_{0.4}As superlattice with 32 periods.

의 Bragg angle, d_p(=d_w+d_B)는 한 주기의 두께이다. 따라서 Δωs의 측정으로부터 d_p를 구할 수 있고 한편 0차 satellite reflection은 초격자의 평균조성 (즉 GaAs층과 AlGaAs층이 서로 섞여 alloy가 되었을 때 Al 조성)으로 부터 생기므로 기판의 GaAs peak와의 비교로부터 평균조성 x를 구했을 때 x는 다음의 관계가 있다.

$$x = xd_B/d_p \quad (2)$$

여기서 x는 AlGaAs층의 Al 조성이다. 따라서 x를 알 경우 (1), (2)로 부터 d_w, d_B를 결정할 수 있다. 이상의 방법으로 그림 6에 제시한 초격자를 분석하면 d_w, d_B가 각각 270Å, 210Å이 구해진다. 그림 6의 초격자 경우 성장 조건으로부터 x=0.6을 추정하여 d_w, d_B를 결정하였는데 실제 AlGaAs층의 조성은 추정된 값과 차이가 있다.

5. PL 측정에 의한 평가

성장한 IQW 구조의 PL(photoluminescence) 스펙트럼을 측정하였다. 그림 5는 그림 3의 경사 연마사진으로부터 제시한 바 있는 IQW 구조의 PL 스펙트럼이다. 20K에서 He-Ne laser로 광여기 하였고 우물층의 두께는 60Å, 100Å, 200Å으로 하였으며 장벽 200Å으로 하였으며 장벽층은 500Å 두께로 하였다. 이때 GaAs 우물층과 Al_{0.3}Ga_{0.7}As 장벽층과의 밴드간 불연속때문에 GaAs층의 전도대와 가전자대쪽 모두에 퍼텐셜 우물이 생긴다. 우물의 두께가 전자와 정공의 De

Brogile 파장보다 작을때 퍼텐셜 우물에 갇혀있는 전자와 정공의 에너지 상태는 양자화된다. 우물의 두께가 클수록 전자와 정공의 바닥상태 에너지는 낮아지므로 그림 5의 구조의 IQW에서는 모든 우물의 바닥상태에 있는 전자와 정공의 재결합으로부터 발생하는 PL 스펙트럼을 측정할수 있다. 그림 5의 PL 스펙트럼에서 큰 장도로 검출된 GaAs peak보다 낮은 파장(고 에너지)쪽에 두개의 peak를 검출하였다. PL은 우물층의 바닥 상태에 있는 전자와 정공의 재결합에 의하여 발생하므로 발광파장은

$$h\nu = E_g(\text{GaAs}) + E_c + E_v - E_{hh} - E_{ex} \quad (3)$$

로 주어지고 여기서 $h\nu$ 는 PL 발광파장, $E_g(\text{GaAs})$ 는 GaAs에너지 갭, E_c 와 E_{hh} 는 우물층에 있는 전자와 무거운 정공(heavy hole)의 바닥상태 에너지이고 E_{ex} 는 전자와 무거운 양공의 exciton binding energy이다. 측정된 PL 결과를 해석하기 위해 장벽층과 우물층의 전자와 무거운 정공의 유효 질량은 Casey와 Panish의 값을 도입하였고^[26] E_c 와 E_{hh} 는 사각형 퍼텐셜 우물을 가정하고 경계조건을 고려하여 계산하였다. E_{hh} 의 계산은 Luttinger Hamiltonian으로 계산하는

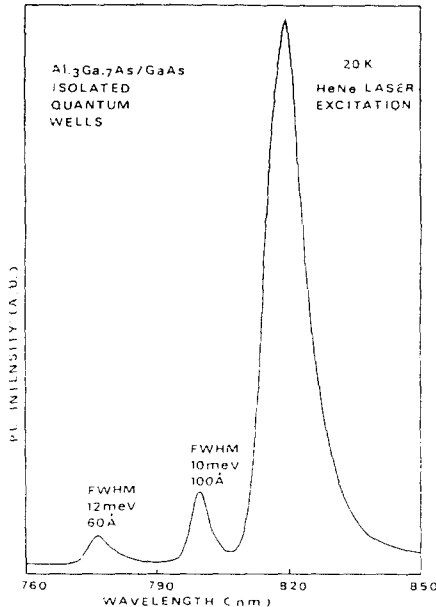


그림 5. GaAs /Al_{0.3}Ga_{0.7}As 고립 양자우물의 PL 스펙트럼
Fig. 5. PL spectrum of isolated GaAs /Al_{0.3}Ga_{0.7}As quantum wells.

것이 정확하나 무거운 정공의 유효 질량만 고려하여 E_c 계산과 같은 방법으로 하였다. 한편, E_{ex} 는 Dingle의 9meV를 일률적으로 취하였고 현재 많은 논란이 되고 있는 band offset parameter (Q)는 Dingle의 $Q=0.85$ 를 채택하지 않고 현재 대체로 받아들여지고 있는 $Q=0.6$ ^[27]을 도입하였다. 이상을 고려한후 PL결과를 해석한 결과 각각의 quantum peak의 우물두께는 61Å, 100Å로 산출되었다. 따라서 200Å의 PL peak는 GaAs와 구분이 되지않는 것으로 생각된다.

III. 측정결과 및 논의

1. 전류-전압 특성 측정

변형된 다중 양자우물 레이저 다이오드를 제작한 후 잘라서test mount에 장착하여, 전류-전압(I-V)특성을 측정하여 순방향 특성과 역방향 특성을 조사하였다. 순방향 특성에서 구해지는 직렬저항(series resistance)은 레이저의 동작시에 발생하는 열과 직접적인 관계가 있고 열의 발생이 많으면 레이저의 열화(degradation)현상이 빨리 일어나므로 직렬저항이 작은 값을 가질수록 좋고 역방향 항복(breakdown)전압은 불순물의 농도에 의존하므로 클수록 좋다. LD86에서의 직렬저항은 2Ω이고 역방향 항복전압은 -8~-10V로 좋은 특성을 얻었다. 그림 6은 스트라이프형 변형된 다중 양자우물 LD86의 제작한 레이저 다이오드의 전류-전압(I-V)의 특성사진이다.

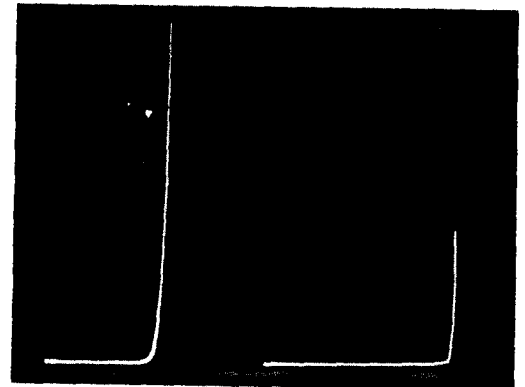


그림 6. 변형된 다중 양자우물 레이저 다이오드의 전류-전압 특성
Fig. 6. Current-voltage characteristics of modified multi-quantum well laser diode.

2. 전류-광출력 특성

제작된 레이저가 실제로 동작하는 가를 알기 위해 구동장치와 광검출기를 사용하여 전류-광출력 특성을 측정하였다. 구동장치는 SR 300 LD및 LED TESTER와 자체 제작한 회로의 두가지를 사용하였다. 측정시에 펄스폭은 1μsec, 주기는 1KHZ로 하였고 광검출기는 실리콘 PIN다이오드를 사용하였다. 그림 7은 제작된 레이저의 전류-광출력 특성곡선이다. 또한 성장조건과 공진기의 길이가 일정하고 스트라이프 폭의 크기가 변함으로서의 임계 전류 밀도값의 변화를 그림 8에 나타내었고, 스트라이프 폭을 고정시켰을때 공진기 길이의 변화에 따른 임계 전류 밀도값의 변화를 그림 9에 나타내었다. 그림 8과 그림 9에서 스트라이프 폭의 길이와 공진기 길이에 따른 임계 전류 밀도값들의 불규칙한 변화는 레이저가 발진하려면 임계이득과 loss가 같아야 하는데 공진기 길이가 감소함에 따라 임계이득이 증가하므로 발진개시밀도가 증가하게 된다. 또한, 스트라이프 폭이 작을수록 캐리어의 축방향으로 확산에 의한 손실의 비율이 증가하여 레이징이 일어나

| | |
|--------------------------------|------|
| I_{th} (mA) | 230 |
| J_{th} (kA/cm ²) | 9.2 |
| S_d (W/A) | 0.15 |

E - L MEASUREMENT

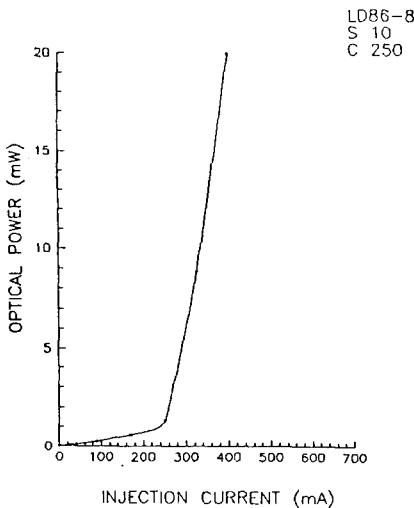


그림 7. 스트라이프 폭이 10μm, 공진기 길이가 300μm 일때 전류 광출력 특성
 Fig. 7. Electroluminescence measurement of MMQW having a stripe width of 10μm and a cavity length of 300μm.

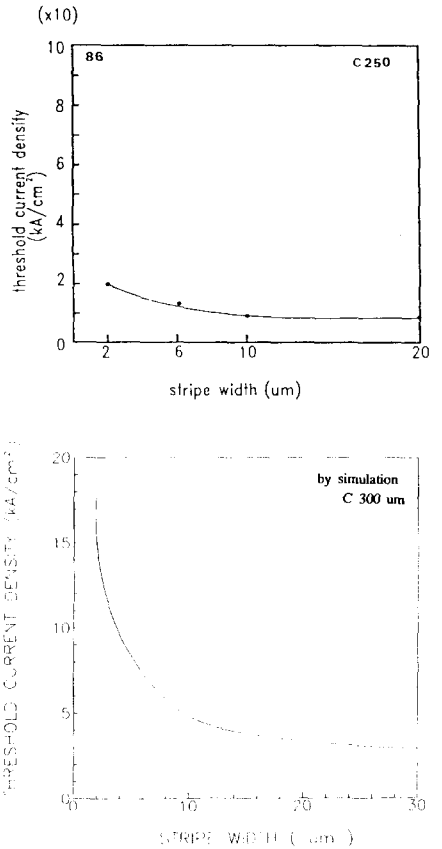


그림 8. 공진기 길이가 300μm 일때 스트라이프 폭의 길이에 따른 임계 전류값
 Fig. 8. Threshold current varing stripe width of MMQW having a cavity length of 300μm.

는 부분에 공급되는 캐리어의 양이 감소하게 된다. 그리고, 스트라이프 폭의 길이와 공진기 길이에 따른 임계 전류의 값들이 불규칙한 변화는 에피층 성장시 중심부분과 가장자리 부분의 질(quality)의 균일성(homogeneity)뿐만 아니라 공진기를 형성하는 거울면의 깨끗한 정도가 중요한 역할을 한다. 따라서 절단도중에 먼지나 GaAs가루등이 달라붙거나 약간의 경사를 갖는 거울면이 형성되면 광산란이 생기고 광흡수가 커지는등 광손실이 생기게 되고 임계 전류등에 영향을 미치게 된다.

3. 발진파장 측정

발진파장 측정을 위하여 optical spectrum analyzer를 사용하였다. 측정하고자 하는 시료를 mount에 장착하여 임계 전류이상의 전류를 주입시키고, 발생한 레이저빔은 분산되어져 나오기 때문에 빔을 분광기에

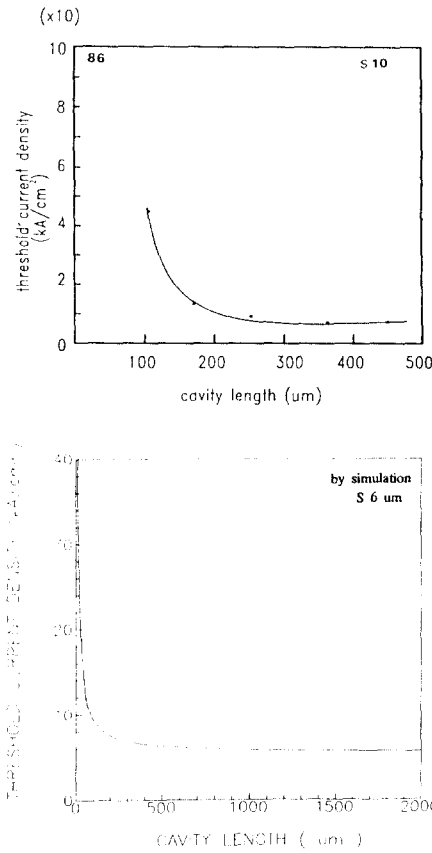


그림 9. 스트라이프 폭이 10 μm 일때
공진기 길이에 따른 임계 전류값
Fig. 9. Threshold current varing cavity length
of MMQW having a stripe width of 300 μm .

촉점을 맞춘다. 측정하고자 하는 파장영역에서 회절격자는 회전시켜서 분리된 파장의 출력을 광검출기로 검출되어 레코더에 기록된다. 측정된 발진파장 스펙트럼에서 주입전류를 증가함에 따라 광세기는 커지고 빔폭이 좁아짐을 알 수 있었다. 그림 10은 스트라이프형 변형된 다중 양자우물 LD86의 종모드 특성을 나타냈다. 발진 스펙트럼 출력 최대치 파장이 8100 \AA ~8200 \AA 정도에서 나타났으며 이는 기존 DH LD에 비하여 매우 단파장화 되었음을 알 수 있다. 다중 양자 우물구조에서는 양자우물의 폭에 의해 발진파장이 정해지며 5개의 양자우물의 일부 폭에 의해 미세한 차이가 존재하여 각각의 종모드가 약간씩 다르게 나타나 서로 간섭하여 나타난 현상이라고 볼 수 있다. 따라서 양자우물 구조 레이저임을 입증되었다.

IV. 결 론

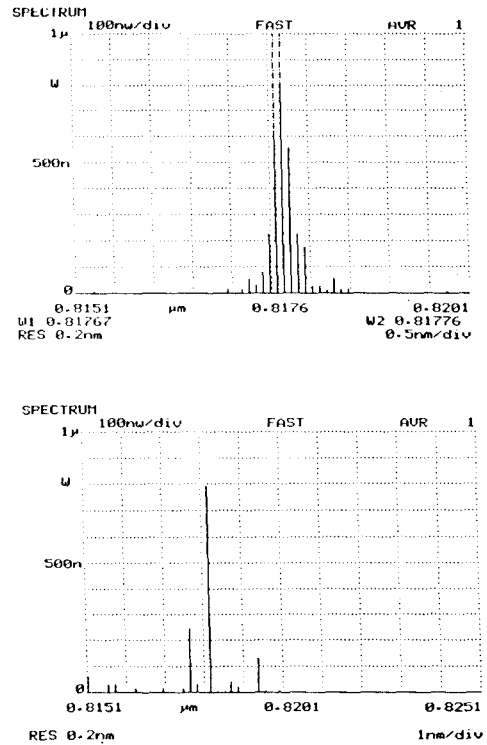


그림 10. 변형된 다중 양자우물 레이저 다이오드의 발진 스펙트럼
Fig. 10. Longitudinal mode spectrum of modified multi-quantum well laser diode.

본 연구논문에서는 광구속 계수를 높이기 위한 변형된 다중 양자우물 레이저 다이오드 구조를 MOCVD법에 의하여 성장하여 스트라이프형 레이저 다이오드를 제작하고 전기적 특성 및 광학적 특성을 알아보았다.

변형된 다중 양자우물 레이저 에피성장애 있어서 설계한 구조의 값과 일치여부와 내부 및 표면의 결합발생이 LD특성에 상당한 영향을 미치고, 제작공정에서는 p형, n형 음(ohmic)접촉 금속의 선택과 열처리 조건, 진공증착기의 진공도, 기관의 제거 정도가 직렬 저항 값에 많은 영향을 주며, 제작한 시료의 측정을 위해 자를 때 거울면의 청결도가 레이저 다이오드 특성에 많은 영향을 줄을 확인할 수 있었다. 그리고, 전류-전압 특성에서 직렬저항은 2 Ω 정도로 양호하였으며 전류-광출력 측정에서는 공진기 길이 및 스트라이프 폭에 따라 임계 전류값이 일정하게 변화하고 있음을 확인할 수 있었다. 대체로 공진기 길이가 작고 스트라이프 폭이 작을수록 임계 전류값이 적어짐을 확인할 수 있었는데, 공진기 길이가 300 μm 이고 스트라이프 폭이 6 μm

일때 가장 적은 임계 전류값을 230mA 정도 얻었다. 또한 발진파장 측정에서는 발진 파장이 8100Å~8400Å 정도로 cladding layer에서의 Al 조성에 따라 변화함을 확인하였다. 제작한 레이저 다이오드 특성으로부터 레이저 다이오드 구조의 최적화와 MOCVD법에 의한 질 좋은 에피성장 그리고 제작 공정에서는 각 공정의 최적조건을 연구하여 더욱 신뢰성 있고 특성좋은 레이저 다이오드의 개발에 주력하여야 한다.

參 考 文 獻

- [1] R. N. Hall, G. E. Genner, J. D. Kingsley et al., "Coherent light emission from GaAs junction", *Phys. Rev. Lett.*, vol. 9, 1962.
- [2] I. Hayashi, M. B. Panishi, P. W. Foy and S. Sumski, *Appl. Phys., Lett.*, 17, 109, 1970.
- [3] Zh. I. Alferov et al., *Sov. Phys. Semicond.*, 4, 1573, 1971.
- [4] H. C. Casey, Jr. and M. B. Panishi, "Heterostructure laser", Academic Press, New York, 1978.
- [5] Y. Suematsu, S. Arai and K. Kishino, *J. Lightwave Technol.*, LT-1, 161, 1983.
- [6] J. P. Van der Zier, R. Dingle, R. C. Miller, W. Wiegmann and W. A. Nordland, *J. Appl. Phys. Lett.*, 26, 463, 1975.
- [7] N. Holonyak, Jr., R. M. Kolbas, R. D. Dupuis and P. D. Dapkus, *IEEE J. Quant. Electron.*, 170, 1980.
- [8] K. Uomi, N. Chinone, T. Ohyoshi and T. Kajimure, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 24, L539, 1985.
- [9] K. Kojima, K. Kyuma, *Appl. Phys. Lett.*, 51, 145, 1987.
- [10] T. Sogawa, Y. Arakawa, M. Tanaka and Sakaki, *Tech. digest Int. Quant. Electron. Conf.* 88, TUG-3, Tokyo, 288, 1990.
- [11] C. J. KIM, H. S. OH, M. K. Kang, Y. KIM, M. S. KIM, K. S. EOM, S. K. MIN, "The Fabrication and characterization of modified Multi-Quantum Well Laser Diode by MOCVD" *KITE Fall Conf.*, vol. 14, 271, 1991.
- [12] P. J. A. Thijs and T. Van Dongen, *Extended Abstracts of the 22nd Conf. Solid State Devices and Materials*, Sendai, 541, 1990.
- [13] T. Tanbun-Ek, R. A. Logan, N. N. Olsson, H. Tempkin, A. M. Sergyen and K. W. Wecht, *Proc. Second Int. Conf. Indium Phosphide and Rel. Mater.*, Denver, TUB. 2, April, 1990.
- [14] K. Von Klitzing, G. Dorda and M. Pepper, *Phys. Rev. Lett.*, 45, 494, 1980.
- [15] K. Von Klitzing, *Rev. Mod. Phys.*, 58, 5519, 1986.
- [16] H. C. Casey, Jr. and M. B. Panish, "Heterostructure laser", Academic Press, New York, 1978.
- [17] J. V. Dilozenzo et al., "GaAs FET Principles and Technology", /Artech House, Massachusetts, 1982.
- [18] C. Y. Chang, Y. K. Su, M. K. Lee, L. G. Chem and M. P. Houn, *J. Cryst. Growth*, 55, 24, 1981.
- [19] C. C. Wang, *Proceeding of 6th Int. Conf. on CVD*, 247, 1977.
- [20] M. R. Leys and H. Veenvliet, *J. Cryst. Growth*, 55, 145, 1981.
- [21] W. Koster and B. Thoma, *Z. Metallk.*, 46, 291, 1955.
- [22] L. Taper and K. Ploog, *Phys. Rev.* vol. 33, 5565, 1986.
- [23] A. Segmuller, P. Krishna and L. Esaki, "X-ray diffraction of a one-dimensional GaAs-AlAs superlattice", *J. Appl. Cryst.*, vol. 10, p. 1, 1977.
- [24] H-S. Kim, Y. Kim, M. S. Kim and S-K. Min, "Structural properties of GaAs grown on (100) Si substrates by MOCVD", *J. Crystal Growth*, vol. 92, p. 507, 1988.
- [25] L. Esaki and R. Tsu, "Superlattice and negative conductivity in semiconductors", *IBM Res. Note*, RC-2418, 1969.

著 者 紹 介



金 貞 珍 (正會員)
1987年 3月 건국대학교 전자공학과 입학. 1991年 3月 건국대학교 대학원 입학. 1991年 2月~1992年 6月 KIST 위탁 연구원. 1992년 8月 현재 건국대학교 대학원 재학 중.

嚴 慶 淑 (正會員) 第28卷 A編 第8號 參照
현재 KIST 연구원

閔 碩 基 (正會員) 第28卷 A編 第8號 參照
현재 KIST 정보재료 연구단장

姜 明 敕 (正會員) 第28卷 A編 第8號 參照
현재 현대전자 광전자연구실 근무

吳 煥 述 (正會員) 第28卷 A編 第8號 參照
현재 건국대학교 전자공학과 교수

金 湧 (正會員) 第28卷 A編 第8號 參照
현재 KIST 선임 연구원