

파장측정 장치의 제작 및 반도체레이저의 광 스펙트럼분석에 관한 연구*

오수환 · 이석정 · 박윤호 · 홍창희

한국해양대학교 전자통신공학과

(1995년 6월 30일 받음)

본 연구에서는 분광기와 컴퓨터 인터페이스에 의해 파장측정장치를 제작하였으며, 제작된 파장측정 장치를 이용하여 반도체레이저인 Fabry-Perot LD와 DFB-LD의 파장특성을 측정하고 그 결과를 분석함으로써 본 연구실에서 제작한 파장측정 장치가 반도체 레이저의 발진 파장특성을 분석하는데 실용적으로 이용될 수 있음을 알 수 있었다.

I. 서 론

반도체레이저를 제작하면 I-V, I-L특성을 조사하여 전기적인 동작상태의 양 부를 확인한 연후에 광학적인 특성중 하나인 발진 및 발광스펙트럼을 측정하여 활성 영역을 구성하고 있는 재료의 조성비 및 굴절율, 발진 모드의 양상, 그리고 발진파장의 온도 및 동작전류 의존성등을 조사하게 된다. 이들 중 발진파장 및 파장의 온도 의존성은 통신 시스템 설계의 참고가 되는 레이저다이오드(laser diode)의 규격이 되므로 상당히 중요한 요소이다. 이러한 발진파장특성을 조사하기 위해서는 고가의 파장분석장치가 필요하게 된다. 그러나 이러한 고가의 파장분석장치는 대학과 같은 소규모 실험실에서 갖추기 힘든 경우가 많다. 따라서 본 실험실에서는 비교적 쉽게 마련할 수 있는 컴퓨터와 분광기를 이용한 파장분석장치를^[1] 구성하였다. 이렇게 시스템을 구성할 경우 정확한 중심파장의 측정이 가능하고 입력데이터의 저장 및 재현을 할 수 있으므로 반도체 발광소자의 파장특성을 측정하는데 실용적으로 이용할 수 있음을 알 수 있었다. 이렇게 하여 구성된 측정시스템을 이용하여 ETRI에서 제작한 반도체 레이저인 AlGaAs/GaAs MQW-TJS LD(Multi Quantum Well Transverse Junction Stripe Laser Diode)와 1.3 μm InGaAsP/InP SMQW-LD, 1.55 μm InGaAsP/InP DFB SMQW-LD(Distributed Feed-back Strained Multi Quantum Well Laser Diode)

의 파장특성을 측정하고 그 결과를 분석함으로써 이러한 장치들이 반도체 발광소자의 파장특성을 측정하는데 실용적으로 이용될 수 있음을 밝혀놓고 있다.

II. 파장측정 장치의 구성

1. 파장측정 장치의 제작

본 연구에 사용된 분광기는 Fastie-Ebert mount 형태의 Jarrell-Ash사 제품으로서 회절격자는 1 mm당 600 grooves이고, 600 nm~2.0 μm 의 파장영역에서 사용되며 반사경에서 출사슬릿까지의 촛점거리는 275 mm 분산은 6 nm/mm이며, 출사슬릿폭에 대한 분해능은 출사슬릿 폭과 분산의 곱으로 주어진다. 따라서 폭 25 μm 인 슬릿을 사용한다면, 약 1 \AA 정도의 이론적인 분해능을 얻을 수 있는데, 시스템 구성상 오차가 개입하게 되므로 1 \AA 까지 정확히 측정하기는 사실상 어렵다. 그러므로 이 분광기에 scanning motor, 광검출기, 컴퓨터를 이용하여 파장측정 장치를 구성하였다.^[1] 특히 정확한 파장표시를 위하여 회전속도를 미세하게 조절할 수 있는 poly recorder를 scanning motor로 사용하였으며, 분광기 옆에 붙어 있는 원형스위치에 50 \AA 단위로 기준점을 표시하게 하였다. 그리고 정확한 파장측정을 위해서는 분광기 옆에 붙어 있는 원형스위치의 접점이 정확하게 이루어져야 한다. 그래서 photo coupler를 TTL (74LS04)회로와 인터페이스 하여^[2] 광전자적 스위치를 만들었다. photo coupler 사이에 끼어 있는 원형 평판이 회전하므로써 50 \AA 단위로 표시된 원형평판의 눈금을 통해 나온 빛을 전기적 신호로

*본 연구는 한국과학재단의 연구비로 수행되었음

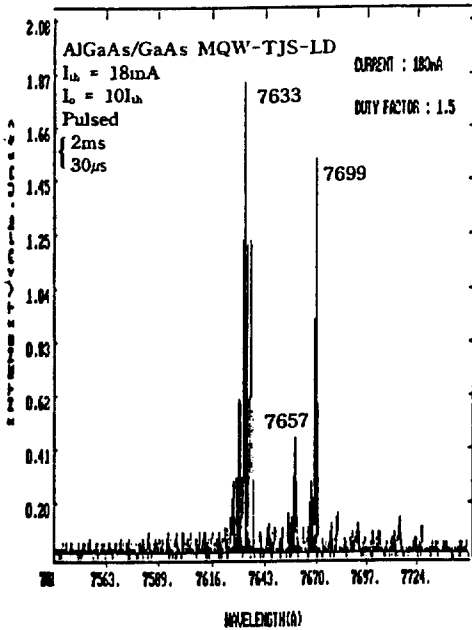


그림 1. 펄스로 검출된 AlGaAs/GaAs MQW-TJS-LD 스펙트럼 측정.

바꾸어 컴퓨터에 전달하여 컴퓨터가 50 Å 단위로 기준 점을 인식하게 하였다.

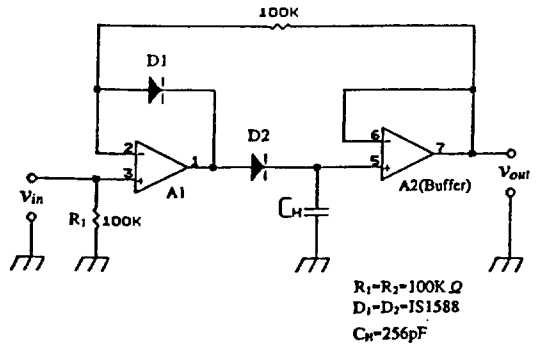
광검출기에 검출되는 광신호가 미약할 경우 신호의 증폭이 필요하게 된다. 따라서 본 연구에서는 광수신용 증폭기도 제작하였으며, 특징은 이득이 약 60 dB이고 차단주파수는 DC에서 50 kHz를 얻을 수 있었다.^[3]

2 최대값 검출기의 제작

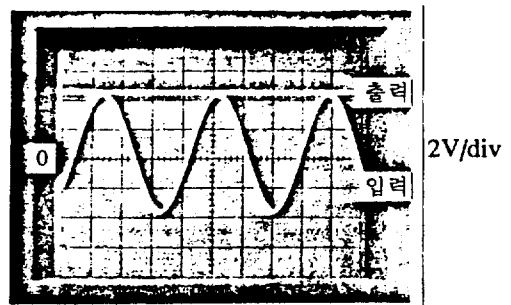
위와 같은 파장측정 시스템을 구성하여 반도체레이저의 파장을 측정할 수 있는지를 알아보기 위해 반도체레이저를 사용하여 실험을 행하였다. 실험에 사용한 반도체레이저는 ETRI에서 제작한 AlGaAs/GaAs MQW-TJS-LD이다.

그림 1은 I_b 가 18 mA이고 전류를 $10I_b$ 로 인가한 AlGaAs/GaAs MQW-TJS-LD의 스펙트럼 특성을 나타내고 있으며, 펄스로 동작된 신호를 검출한 그림이다. 이와 같이 펄스로 동작된 신호를 직류신호로 바꾸는데 적절한 장치가 필요하게 된다.

이 때 광 펄스신호의 강도가 광 검출기의 최대 수신 감도 근처로 미약하다면 시간평균 광 검출에 의한 파장측정은 거의 불가능하다. 그래서 본 논문에서는 미약한 광펄스의 파장특성을 측정할 수 있도록 광 검출기로부터 검출된 광펄스 신호를 펄스의 최대 값에 해당하는 직



(a) 최대값 검출기 회로도



(b) 최대값 검출기 회로의 입·출력파형

그림 2. 최대값 검출기의 원리.

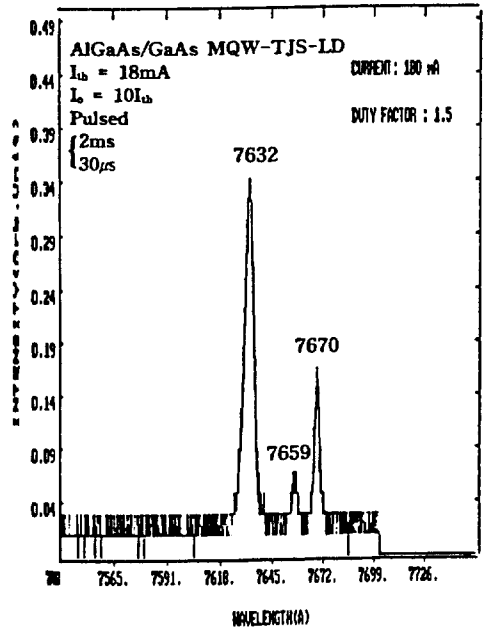


그림 3. AlGaAs/GaAs MQW-TJS-LD 스펙트럼 측정.

류신호로 변환시키는 최대값 검출기를 제작하였다. 그림 2의 (a)는 최대값 검출기 회로도이며 (b)는 입출력 특성을 나타내는 원리도이다.^[4] 그림 2의 (b)에서 입력전압 V_m 과 Peak치와 출력파형 V_{out} 을 비교하면 알 수 있듯이, V_m 의 최대진폭치를 4V라고 할 때, V_{out} 의 값도 4V로 되어 있다. 이와같은 회로를 사용하여 그림 1과 같이 측정되는 신호를 그림 3과 같은 직류신호로 바꾸었으며, 측정결과 펄스로 측정된 중심파장과 차이가 없음을 알 수 있다.

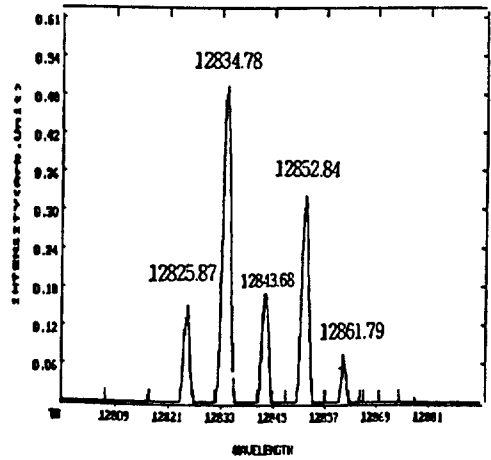
III. LD의 발진 파장특성 분석

1. LD의 발진파장 분석

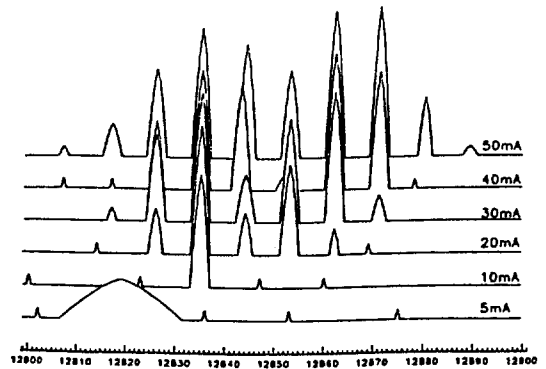
앞장의 파장측정장치로 Febry-Perot LD인 $1.3 \mu\text{m}$ InGaAsP/InP SMQW-LD와 DFB-LD인 $1.5 \mu\text{m}$ InGaAsP/InP DFB-SMQW-LD의 발진특성을 알아 보았다.

먼저 Febry-Perot LD인 $1.3 \mu\text{m}$ InGaAsP/InP SMQW-LD의 발진특성을 측정하여 보았다. 임계전류가 4 mA이며 60 mA에서 약 12 mW의 광출력 나타내는 LD로 전류를 증가시키며 $10 I_{th}$ 까지 주입전류에 따른 스펙트럼 변화를 측정하여 보았다. 그리고 주열열 상승으로 인한 반도체내부의 온도 상승으로 인한 열화를 방지하기 위해 펄스폭(duty) 0.1%로^[5] 하여 측정하였다. 그림 4의 (a)는 20 mA의 전류를 인가한 측정치며, (b)는 각 전류에 따른 측정치를 나타내고 있다. (b)의 측정치에서 전류를 증가시킬수록 파장대역이 넓어지며 발진모드수가 증가함과 동시에 다중모드로 발진함을 알 수 있다. 그 원인은 주입전류의 증가에 따른 이득 gain의 증가에 의한 것으로 추정된다.

DFB-LD에 대한 특성평가에 있어서는 발진 스펙트럼 측정 항목은 가장 중요한 의미를 가진다. 즉, 단일 종모드 발진 여부와 측모드 억제율(SMSR: side mode suppression ratio), 단일 종모우드 유지 최대 광출력등의 DFB-LD성능이 LD에 대한 설계, 제작과정으로부터 직접적으로 반영되어 나타나기 때문이다. 임계전류치가 10 mA 이고, 100 mA의 전류를 인가하였을 때 20 mW의 광출력을 나타내는 LD를 이용하여 주입전류에 따른 스펙트럼을 측정하여 보았다. 0.1%의 펄스폭(duty)으로 하여 10 mA씩 전류를 증가시키면서 스펙트럼변화를 측정하였으며, 그림 5에 측정된 스펙트럼을 나타내고 있다. 20 mA에서 100 mA까지 전류를 인가 하였을 때 0.42 \AA 정도 단파장 쪽으로 파장이 이동했음을 알 수 있다. 0.42 \AA 정도의 파장은 무시할 수 있으므로 $10 I_{th}$ 에서도 주입전류에 따른 파장변화는 없다는 것을 알 수 있다. 그리고



(a) 20 mA



(b) 각 전류에 따른 스펙트럼

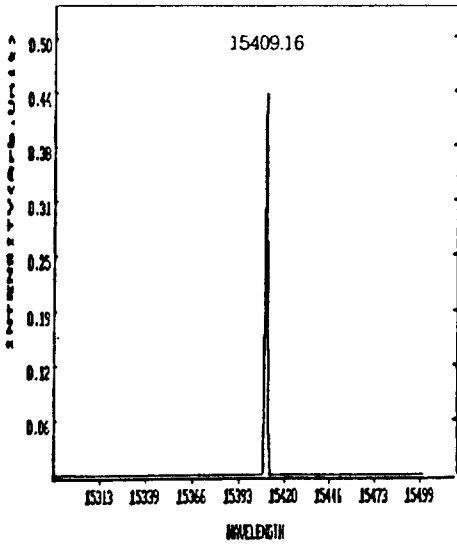
그림 4. $1.3 \mu\text{m}$ InGaAsP/InP SMQW-LD의 주입전류에 따른 스펙트럼.

이러한 스펙트럼 측정치로부터 DFB-LD의 중요한 특성 중의 하나인 측 모드의 발진이 없는 단일 모드로 발진함을 확인할 수 있었으며, $10 I_{th}$ 이상에서도 mode hopping없이 단일 DFB모드로 동작함을 확인할 수 있었다.

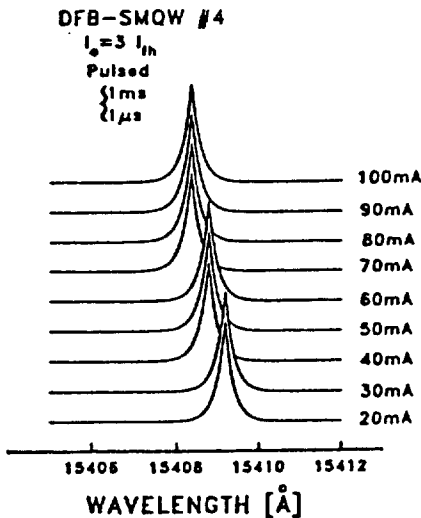
2. LD의 발진파장의 온도특성

본 절에서는 Fabry-Perot LD와 DFB-LD의 온도에 따른 스펙트럼 변화를 측정해 보았다.

LD의 온도가변은 열전소자(Thermo. Electric Cooler)를 이용하였으며, 이는 상온에서 0~2A로 전류를 가변시켰을 때 $\pm 20^\circ\text{C}$ 의 온도차를 발생시킬 수 있는 능력을 가지고 있는 소자이다. 온도의 측정은 LD의 mount(Copper Block)에 열전대를 장착하여 측정하였다. 그림 6은 InGaAsP/InP SMQW-LD의 스펙트럼을 온도에 따라 측정하여 발진 중심파장을 표시해 놓은 것으로서 일반적



(a) 단일 모드 동작 스펙트럼



(b) 주입전류에 따른 스펙트럼 특성

그림 5. 1.5 μm InGaAsP/InP DFB-SMQW-LD의 주입전류에 따른 스펙트럼.

으로 알려져 있는 $5\sim 6\text{Å}/\text{C}$ 보다^[6] 약 $1\text{Å}/\text{C}$ 가 낮은 약 $4.3\text{Å}/\text{C}$ 로 나타났다. 그 이유는 SMQW-LD의 온도특성이 일반적인 MQW-LD보다 좋은 것으로 생각된다. 그리고 그림 6에는 발진 스펙트럼을 굴절률변화에 따른 발진모드의 온도의존성도 나타내고 있으며, 온도의존성이 알려져 있는 것과 같이 약 $1\text{Å}/\text{C}$ 로 나타났다. 따라서 순수 밴드갭 에너지의 변화는 통상의 온도변화에 굴절률에 따른 온도변화를 뺀 값이 된다. 그래서 발진파장의 변

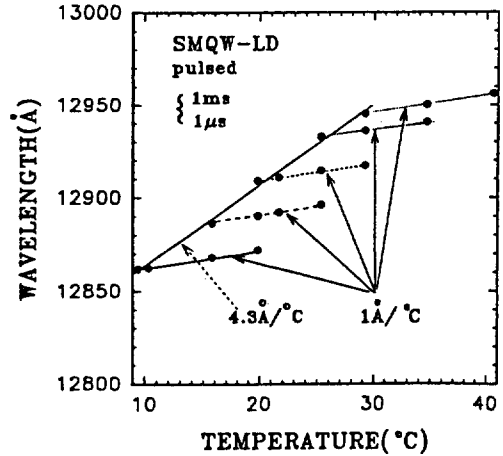


그림 6. 1.3 μm InGaAsP/InP SMQW-LD의 온도에 따른 파장특성.

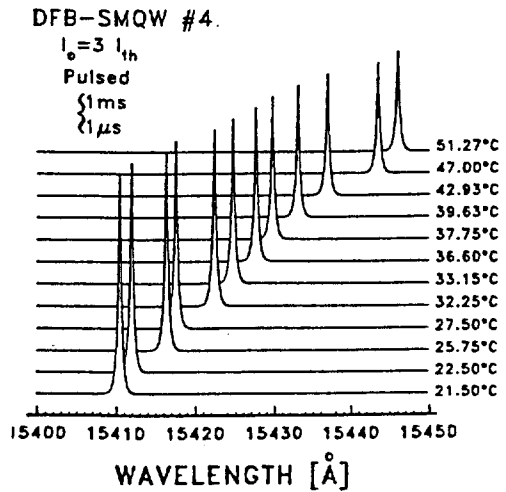


그림 7. 1.5 μm InGaAsP/InP DFB-SMQW-LD의 온도에 따른 발진 스펙트럼.

화는 약 $3.3\text{Å}/\text{C}$ 정도가 된다. 이와 같은 결과를 놓고 볼때 SMQW LD가 MQW LD보다 약 2배 정도 좋은 온도특성을 나타내고 있다는 것을 알 수 있었다. 본 논문에서 구성한 파장측정 시스템이 LD의 온도에 따른 파장변화뿐만아니라 굴절률변화에 따른 발진 모드의 변화도 측정할 수 있었다. 그러므로 본 논문에서 구성한 파장측정 시스템이 LD의 파장변화뿐만 아니라 모드해석도 가능하다는 것을 알 수 있었다.

그림 7은 InGaAsP/InP DFB-SMQW-LD에 전류를 $3I_{th}$ 로 인가하여 온도에 따른 스펙트럼변화를 측정된 것으

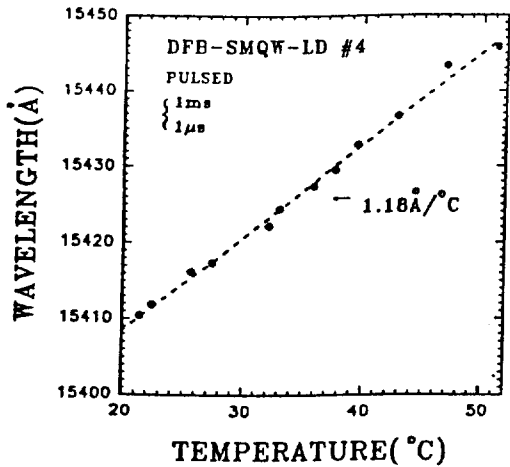


그림 8. 1.5 μm InGaAsP/InP DFB-SMQW-LD 온도에 따른 파장변화.

로서, 온도를 21.5°C에서 51.27°C까지 29.27°C의 온도변화에 대해 발진 중심파장이 15410.41 Å에서 15445.85 Å으로 약 35.42 Å 정도 변했음을 알 수 있으며, 온도에 따른 발진모드의 도약 현상이나 다중 모드로 발진하는 현상이 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 그러므로 DFB LD는 굴절율변화에 따라 파장이 변화한다는 것을 알 수 있다. 그림 7은 그림 8과 같은 스펙트럼의 파장변화를 나타내고 있으며, 온도에 따른 파장변화가 약 1.18 Å/°C로 나타남을 알 수 있다. 이와 같은 측정치는 그림 6의 SMQW LD의 굴절율변화에 따른 발진파장 변화와 비교해 볼 때 거의 같은 값을 가지므로 파장변화가 굴절율변화에 의해 발생하고 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 이러한 측정치의 값은 일반적인 DH-LD의 5~9 Å/°C와 비교할 때^[7] 5배 이상 우수한 결과이며, 통상의 DFB-LD의 0.9 Å/°C와^[8] 비교해 볼 때 약 0.2 Å/°C 정도 높은 변화를 보이고 있는 것으로 나타났다.

IV. 결 론

본 논문에서는 소규모 실험실에서 비교적 쉽게 마련할 수 있는 분광기에 scanning motor, 광검출기, photo coupler와 컴퓨터를 이용하여 1 Å 정도의 분해능을 가지며 아날로그 그래픽이 가능한 파장분석장치를 구성하였다. 그리고 미약한 광펄스의 파장특성을 측정하기 위해서 광검출기로부터 검출된 광펄스신호를 직류신호로 변환시키는 최대값 검출기를 제작하였다. 이렇게 구성된 파장분석장치를 이용하여 AlGaAs/GaAs TJS-MQW LD의

스펙트럼을 측정하여 보았다. 그 결과 양호한 스펙트럼을 측정하였다.

그래서 Fabry-Perot LD인 1.3 μm InGaAsP/InP SMQW-LD와 DFB-LD인 1.5 μm InGaAsP/InP DFB SMQW-LD의 파장특성을 측정하고 그 결과를 분석해 보았다. Fabry Perot 1.3 μm InGaAsP/InP SMQW-LD의 온도에 따른 파장특성을 측정하였을 때 순수한 밴드갭 변화에 의한 파장변화가 3.3 Å/°C로 나타났으며 이것은 SMQW-LD가 DH LD보다 약 2배 정도 좋은 특성을 가짐을 알 수 있었다. 그리고 온도변화에 의해서 굴절율이 변화해서 생기는 발진 모드변화가 1 Å/°C로 나타났다. 그리고 DFB-LD인 1.5 μm InGaAsP/InP DFB SMQW-LD의 온도에 따른 파장변화가 1.18 Å/°C로 나타났으며, 이 값을 Fabry-Perot LD와 비교해 볼 때 굴절율변화에 의해 발진 파장이 변화한다는 것을 알 수 있다. 그러므로 구성된 파장분석장치가 반도체 레이저의 스펙트럼측정 및 발진 모드분석을 하는데 실용적으로 사용할 수 있음을 알 수 있었다. 이렇게 측정된 데이터를 반도체레이저를 제작하는 제작팀에게 수시로 제공함으로써 반도체레이저 제작시 참고가 되도록하여 제작된 레이저의 성능평가에 유용하게 사용할 수 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 오수환, 이석정, 황상구, 박윤호, 홍창희, "PC를 이용한 광파장 스펙트럼 측정에 관한 연구", 제 3회 광자기술 학술회의 논문집, p. 195-196 (1994).
- [2] 梅地 正 外 著, 全在昇 譯, 센서 인터페이스 No. 4: 광센서 徹底活用篇, p. 50, 機電出版社, 1987.
- [3] 오수환, 이석정, 박윤호, 홍창희, "파장측정장치를 이용한 LD의 발진특성분석에 관한연구", 춘계 부산·경남 지부 전자공학회, p. 32-38 (1995).
- [4] 角田秀夫 著, 堀景一, 勸仁鉉 共譯, 實用 OP-AMP 回路, p. 54-55, 大英社, 서울 (1991).
- [5] 末松安晴, 半導體 レ-ザと 光集積回路, オ-ム, 東京, p. 294, 1982.
- [6] T. Yamamoto, K. Sakai, S. Akiba and Y. Suematsu, "Fast pulse behavior of InGaAsP/InP double-heterostructure lasers emitting at 1.27 μm," Electron. Lett., **13**, pp. 142-143 (1977).
- [7] K. Utaka, K. Kobayashi and Y. Suematsu, "Lasing characteristics of 1.5~1.6 μm GaInAsP/InP intergrated twin-guide lasers with first-order distributed bragg reflectors with first-order distributed bragg reflectors," IEEE J.Quantum Electron., **QE-17**, pp. 651-658 (1981).

- [8] K. Sakai, K. Utaka, S. Akiba and Y. Matsushima, "1.5 μm range InGaAsP/InP distributed feedback lasers," IEEE J. Quantum Electron., QE-18 (1982).

A Study on the Fabrication of Wavelength Measurement System and the Spectrum Analysis of Laser Diodes

Su-Hwan Oh, Seok-Jeong Lee, Yoon-Ho Park and Tchang-hee Hong
*Department of Electronic Communication Engineering,
Korea Maritime University, Pusan, 606-791, Korea*

(Received: June 30, 1995)

A wavelength measurement system has been made using a monochromator and computer interfacing. The spectra of several light emitting diodes and the wavelength characteristics of Fabry-Perot LD and DFB LD have been measured with this system. The results show that this system can be practically used in analyzing the lasing mode and the wavelength characteristics of the semiconductor lasers.