

論 文

헤테로다인檢波方式을 利用한 光通信 시스템에 關한 研究  
(LD의 周波數安定和를 爲한 恒溫器設計에 關하여)

正會員 林 明 燮\* 正會員 洪 玩 憲\*\* 正會員 朴 漢 奎\*\*\*

**A Study on the Optical Communication System  
using Heterodyne Detection Method  
(Design of Thermal Chamber for LD Frequency Stabilization)**

Myeong Seob LIM\*, Woan Hue HONG\*\*and Han Kyu PARK\*\*\*, *Regular Members*

**要 約** 半導체 레이저의 出力 및 波長은 溫度에 대단히 敏感하다. 특히 헤테로다인光通信 시스템이나, 光學用精密 度量衡器, 高分解能 스펙트로스코프 등 測量 및 通信에서 發光源으로 使用하기 爲해서는 適當한 安定化 技術이 要求된다. 이에 溫度의 安定은 絶對的이다. 따라서 本 研究에서는 恒溫器의 溫度를 -27℃에서 +73℃까지 임의 設定이 可能하게 하였으며 溫度 安定은  $\pm 2\text{m}^\circ\text{K}$ 보다 좋은 結果를 얻었다.

**ABSTRACT** The wavelength and output power of semiconductor laser is varying sensitively with temperature. It must be stabilized by the aid of some proper stabilization technique in order to use it as a radiative source for heterodyne optical communication, optical metrology, and high resolution spectroscopy. In this paper, the temperature of the thermal chamber was variable from  $-27^\circ\text{C}$  to  $+73^\circ\text{C}$  and the temperature stability was within  $\pm 2\text{m}^\circ\text{K}$  or better.

1. 序 論

近間에 半導체 레이저는 急進的인 發展을 해왔다. 특히 赤外線에서 可視光線에 이르기까지 常溫에서 單一 모드로 動作시키는 DH(Double Heterostructure)레이저는 實用까지 可能하다(1)(2)

氣體 및 固体 레이저에 비해 크기가 小型이고 注入 電流의 變化에 依해 直接 廣大域變調가 可能하고 效率이 좋은 뿐만 아니라 單一 모드로 動作시킬 수 있어 여러 分野에 많이 利用되고 있다. 反面에 本質的인 短點으로는 自由 動作 條件下에서 發振周波數가 레이저 다이오드의 溫度와 供給 電流의 작은 變化에도 敏感하여 連續 發振 半導체 레이저를 헤테로다인 光通信 시스템이나, 光學用 精密 度量衡器, 高分解能 스펙트로스코프의 發光源으로 使用하기 어렵다. 이러한 問題를 解決하기 爲해서는 適當한 歸還 安定化 技術에 依해 周波數를 安定化시켜야 한다. 半導체 레이저의 周波數 安定化에 對해서는 많은 學者에 依해 보고된 바 있다(1)~(4). 이들의 共通的인 事實

\* 大宇通信株式會社

Dae Woo Telecommunication Ltd.

\*\* 서울市立大學電子工學科

Dept. of Electronics, Seoul city University.

Seoul, 132, Korea.

\*\*\* 延世大學校 工科學 電子工學科

Dept. of Electronics Engineering Yon-Sei University.

Seoul, 120 Korea.

論文番號 : 85 - 22(1985. 6. 12)

은 모두가 溫度 安定化위에서 이루어질 수 있다는 것으로 溫度 安定化의 問題는 대단히 重要하다. 一般의으로 레이저의 溫度가 減少하면 레이저發振 周波數는 높은 周波數 쪽으로 繼續 變하고 모드가 뛰게 된다. 代表的인 溫度 變化에 따른 發振 周波數 및 出力의 變化를 그림 1에 나타냈다. 그림에서 보면 出力 2mw에서 容器的 溫度를 약 10℃ 增加시키면 出力은 50%減少된 1mw를 나타냈다. 또한 發振 波長의 溫度에 따른 變化를 보면 溫度의 增加에 따라 20GHz/℃까지 增加할 뿐만 아니라 溫度 間隔이 微細하게 變化함에도 200GHz/℃로 크게 뛰어 오르는 모드 跳

따라서 本 論文에서는 恒溫器의 溫度를 -27℃에서 +73℃까지 임의 設定이 可能하게 하였으며 測定 回路는 10<sup>-5</sup> K까지 디지털로 判讀이 可能하게 하였다. 實際 製作하여 얻어진 溫度 安定은 ± 2 m°k 보다 좋은 結果를 얻었다.

## 2. 恒溫器의 溫度 調節 및 測定 시스템 設計.

그림 2는 溫度 調節 및 測定方式에 對한 系統圖를 보여 준다. 使用하고자 하는 레이저 다이오드는 펄티에 素子를 通해서 溫度가 調節된다. 溫度 感知 素子는 AD590으로 溫度에 따른 電流源을

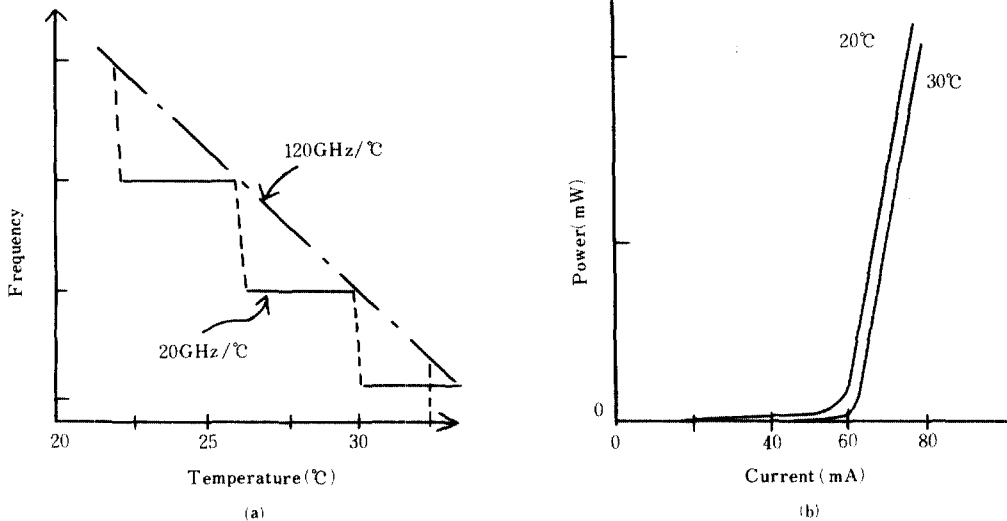


그림 1 (a) 레이저 다이오드의 주파수-온도특성  
(b) 레이저 다이오드의 출력-온도특성  
(a) Frequency-temperature Characteristics of DH laser  
(b) Power-temperature characteristics of DH laser.

躍 現象을 나타낸다. 흔히 光通信 시스템에 있어서 레이저 다이오드의 溫度 安定化를 爲한 經費가 追加되므로 단지 레이저 다이오드의 注入 電流를 一定히 維持하고 光歸還 方式을 利用한 光出力 安定化 回路를 使用하나<sup>(5)</sup> 레이저 다이오드의 發振 周波數는 이러한 方式으로는 安定하지 못하다. 高精度用 光學器機 및 헤테로다인 光通信 시스템의 發光源으로 使用하기 爲해서는 半導體 레이저의 溫度 安定化 回路는 必要 不可缺이다.

使用했으며 PI 制御器의 使用은 制御偏差를 0으로 되는 것을 보장한다. 制御器의 時間 特性은 未知이며 이는 펄티에 素子의 正格에 따라서 달라진다. 比例 增加 感度を 適節히 하고 積分器의 時常數를 適節히 調節하여 最適化 하여야 한다<sup>(6)</sup>. 또한 可能한한 레이저 다이오드에 保有되는 熱容量을 最小化 하는 것이 重要하며 制御系統이 不必要하게 다음 단까지 持續되지 않게 한다. 뿐만 아니라 使用되는 電源回路는 精密及의 電壓 安定化 回路를 使用하는 것이 必要하다<sup>(7),(8)</sup>.

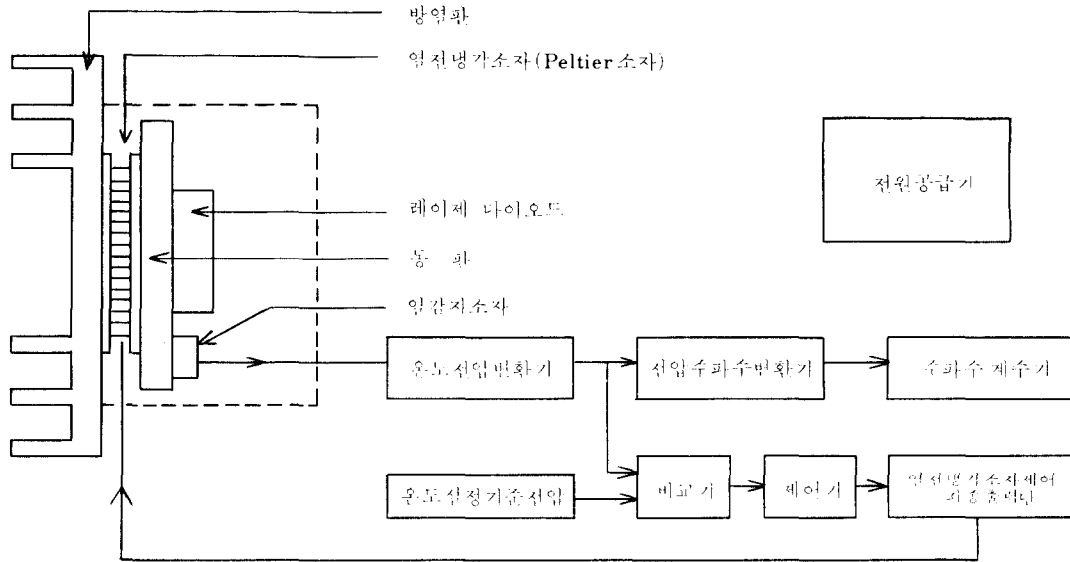


그림 2 온도 조절 및 측정 시스템의 기본 제통도  
Fundamental diagram for temperature measurement and control system.

(1) 恒溫器의 設計

溫度를 調節하고 維持 保存시키기 爲해 무엇보다도 重要한 것은 恒溫器의 幾何學的 構造이다. 恒溫器의 設計에 있어서 먼저 考慮해야 할 몇가지 要件은 다음과 같다.

- 加壓적 두꺼운 벽으로 熱損失을 줄일것.
- 低廉하고 效率的인 熱絶緣 材質 使用.
- 長時間 높은 溫度 安定을 維持시키기 爲해 多段 恒溫器 使用.
- 放熱板의 熱的 安定은 恒溫器 内部의 溫度 安定度 增大.

以上の 要件을 考慮해 設計된 恒溫器의 幾何學的 構造는 그림 3 과 같다. 熱損失을 막고 恒溫性을 保持하기 爲해 比較的 두꺼운 벽을 쌓았으며 低廉하고 效率的인 熱絶緣 材質인 石綿과 아크릴을 使用하였다. 溫度를 0℃以下로 維持시키기 爲해서는 2段 以上の 多段 펄티에 素子를 利用하여야 하나 通常 半導체 레이저의 作動溫度를 10℃에서 30℃ 이내의 常溫에서 維持시킴이 바람직 하므로 經濟性을 考慮하여 1段 使用을 原則으로 하였다. 放熱板의 熱的 安定을 維持시키기 爲해서는 放熱板 위에 送風裝置를 附着

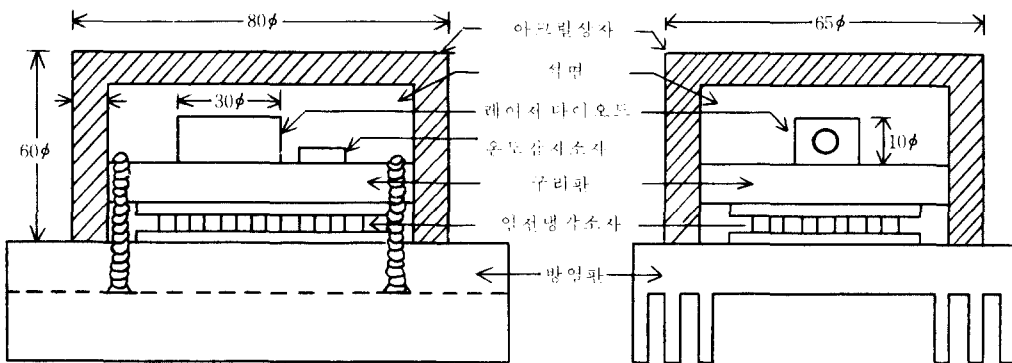


그림 3 恒溫기의 幾何學的 構造  
Construction of thermal chamber.

시킴이 바람직하나 半導體 레이저의 照準 整列을 爲하여 冷却나개를 使用한 自然放熱用 放熱板을 使用하였다.

(2) 熱電 冷却 素子(Peltier Element)의 選定.

그림 3 과 같은 恒溫器로부터 壁面을 통한 損失 熱量  $Q_w$ 를 求해 보자. 熱力學 公式에 依하면<sup>10)</sup>,

$$Q_w = KA(T_i - T_o) = KA\Delta T \quad (1)$$

여기서  $A$ 는 露出面積,  $T_i$ 는 內壁溫度,  $T_o$ 는 外壁溫度,  $\Delta T = T_i - T_o$ 는 內壁과 外壁의 溫度差,  $K$ 는 熱貫流率로 絶緣 材質에 따라서 決定되며

$$\frac{1}{K} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} \quad (2)$$

$\lambda_i$ 는  $i$ 번째 絶緣材質의 熱傳導率이고  $d$ 는 두께이며  $h_i$ 와  $h_o$ 는 各已 內壁과 外壁을 싸고 있는 가스層과의 熱傳導常數이다. 壁面에서의 損失, 熱量  $Q_w$ 外에도 레이저 다이오드와 熱感知素子等에 依해서 發生한 熱量  $Q_L$ 을 求하면 熱電冷却素子(Peltier Element)에 依해 뽑어 내야할 總熱量은 이들의 合으로 얻어진다.

$$Q_T = Q_w + Q_L \quad (3)$$

따라서 最小限 이들 總熱量을 뽑어낼 수 있는 素子를 選擇해야 한다.

우리가 要求하는 物體의 溫度를 願하는 溫度로 變換시키는데 要하는 時間은

$$H = \frac{m C_p \Delta T}{Q} \quad (4)$$

여기서  $m$ 은 目的物의 質量,  $C_p$ 는 比熱,  $\Delta T$ 는 溫度差,  $Q$ 는 뽑어내는 熱量이다. 이때 뽑어내는 熱量은 처음 뽑어내는 熱量  $Q_1$ 와 最終 正常狀態에서 뽑어내는 熱量  $Q_s$ 의 平均값을 取하여야 한다. 펠티에 素子를 通해서 強制로 逐出된 熱量을 大氣中으로 放出시키기 爲한 有效 放熱板 面積을 算出하는 式은

$$Q = hA\Delta T \quad (5)$$

여기서  $Q$ 는 單位 時間當 逐出 熱量,  $A$ 는 放熱板의 露出面積,  $\Delta T$ 는 放熱板과 大氣와의 溫度差,  $h$ 는 熱傳導常數이다.

(3) 溫度 測定 回路 設計

본 시스템에서 設計하고자 하는 溫度計의 系統圖는 그림 2와 같이 溫度-電壓 變換器, 電壓-周波數 變換器와 周波數 計數器로써 構成된다. 電氣溫度計는 溫度變化를 電氣의 信號로 檢出하는 感知素子의 選定에 難點이 있다<sup>11), 12)</sup>. 感知素子의 必要한 條件은 出力이 電氣의 信號일 것, 測定溫度 範圍內에서 直線性이 保障될 것, 取扱이 簡便할 것, 價格이 低廉할 것, 感度가 좋을 것 등이 要求된다. 以上の 條件을 滿足하는 素子는 많지 않으나 본 시스템에서는 設計가 容易하고 精密 測定 및 制御를 爲해 使用할 수 있는 素子라고 判斷되는<sup>13)</sup> Analog Devices 社의 AD590을 擇하였다. AD590은 溫度 依存 電流源으로 高出力 임피던스를 가졌고, 消耗 電力이 1.5mW 로 대단히 적을 뿐만 아니라, 供給 電壓이 4 V에서 30V로 대단히 넓으며, 케이스로부터 感知素子가 隔離되어서 取級이 容易하다. AD590을 利用하여 願하는 溫度를 測定하고자 하는 回路는 그림 4와 같이 構成하였다. 常溫 25°C인 境遇AD590은 약 298.2 $\mu$ A의 電流源으로 動作하고 이를 1 K $\Omega$ 의 抵抗에 흘러서 298.2mV의 電壓을 얻게 된다. 이 信號를 直接 電壓-周波數 變換하거나 制御 信號로 쓰기에는 不適合하여 이를 OP Amp.를 使用 10倍 增幅하고 이를 다시 2.5000V 精密 定電壓源인 AD580과 10倍 差動 增幅한다. 이렇게 얻어진 信號를 電壓-周波數 變換器를 利用 周波數로 變換하였다. 電壓-周波數變換器로 使用한 IC는 LM331로 10V 入力時 10KHz로 變換되는 回路를 使用하였으며 線形度는 약 0.03%로 實測되었다. 이렇게 얻어진 周波數는 Hewlett Packard社의 周波數 計數器 5315A로 表示함으로 10<sup>-5</sup>°K까지 判讀할 수 있게 하였다. 이때 읽혀지는 값은 常溫 25°C인 境遇 4.820000KHz로써 實祭 溫度는 絶對溫度로 4.820000 $\times$ 10+250=298.2°K이다.

(4) 溫度制御 回路 設計

溫度 制御 回路는 그림 2와 같이 溫度-電壓, 變換器, 溫度設定 基準電壓 比較器, PI制御器, 펠티에素子 制御 最終出力段으로 構成한다. 그림 4에서 보듯이 溫度-電壓 變換器는 溫度 測定 回路와 同一段을 그대로 使用하며 여기서 얻어 진 信號 電壓을 溫度 設定 基準電壓과 比較하여 誤差信號를 얻는다. 이때 溫度設定 基準電壓은 대단히 安定되어야 한다. 따라서 10,000V 高精密度 電壓源인 AD581의 出力을 10K $\Omega$  10회轉 精密 포텐시오메타에 依해서 配分하여 設定하는 方式을 取하므로 -23 $^{\circ}$ C에서 +77 $^{\circ}$ C까지 약 100 $^{\circ}$ K範圍內에서 임의 設定이 可能하게 하였다. 差動增幅器에 얻어진 誤差信號는 PI制御器에 依해서 適當한 制御信號로 바뀌어 펠티에素子 制御 最終出力段에 供給되어 制御하게 된다. 最終出力段의 小型 트랜지스터 C1815와 A1015는 各已 MJ3001과 MJ2501을 通해서 흐르는 最大 電流을 制限시키는 電流制御素子이다. 半固定 抵抗 200 $\Omega$ 에 依해 펠티에素子の 正格值內에서 調整함으로써 過電流에 依한 펠티에素子の 破壞를 防止한다.

3. 實驗 및 結果 考察

以上과 같이 設計된 溫度 調節 및 測定回路에 對한 全体 回路圖인 그림 4를 製作하는 데 있어서 重要한 事項은 素子の 選擇이다. 먼저 펠티에素子は 總放出 熱量  $Q_T$ 와 放出時間  $H$ 를 最適化시키는 條件에서 選定하게 된다. 이에따라 選定 使用한 펠티에素子は Driesen+Kern社의 PKE36A001로 最大 20W의 淸風 能力을 갖는다. 以外 大部分의 素子들이 溫度에 따라 그 特性이 變化하기 때문에 抵抗과 같은 境遇 溫度 特性이 좋고 誤差 1% 미만의 精密素子를 使用토록 하며, 캐패시터의 境遇 마일러나 탄탈 系統을 使用하는 것이 바람직 하다. 增幅器의 境遇 雜音 特性과 溫度에 따른 off-set 電壓 特性이 重要하므로 溫度 測定用 增幅回路에서는 CMRR 120dB, off-set 電壓變動 0.5 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C인 AD524精密計測用 增幅器를 選擇하여 使用하였다. 溫度 調節 回路에서는 誤差信號 檢出 및 制御段에 초커 安定된 增幅器인 Intel社 ICL7650을 使用함으로써 溫度에 따른 off-set 電壓變動을 0.01 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C 以下로

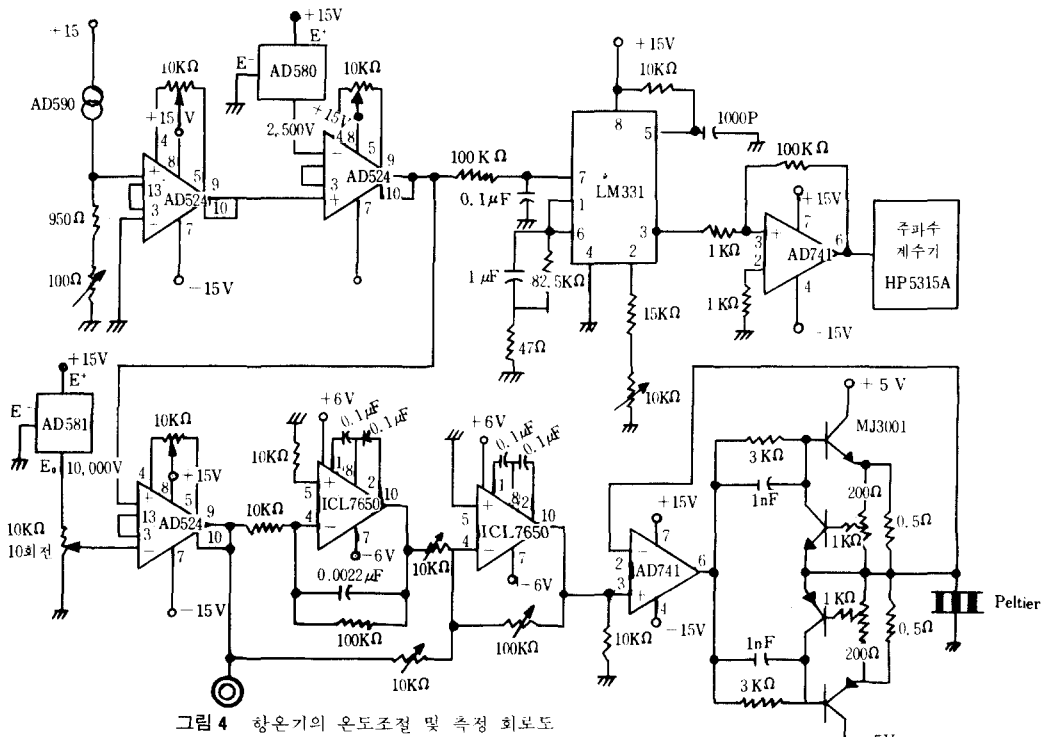


그림 4 향온기의 온도조절 및 측정 회로도  
Temperature Control and measurement circuits of thermal chamber.

解決할 수 있었다<sup>4)</sup>. 寫眞 1은 試製한 溫度 調節 및 測定回路 시스템의 特性 測定 實驗裝置를 보여준다. 그림 5는 設定溫度 20°C에서 19°C로 急轉換時의 過渡의 溫度 追蹟 特性으로 20秒의 比較的 長時間 過渡期間을 갖음을 볼 수 있다.

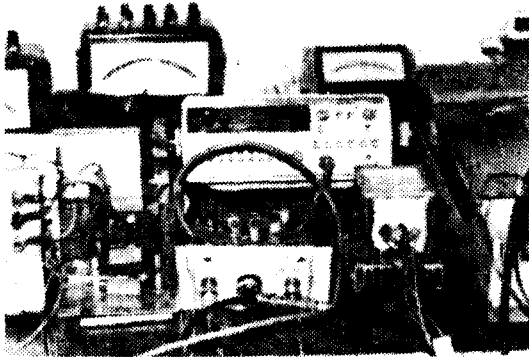


사진 1 상온기의 온도특성 실험 장치  
Construction of the experiment of the thermal chamber characteristics.

그림 6은 設定溫度 20°C에서 正常狀態 5分間에 對한 溫度變化 特性을 보여주며  $\pm 2m^{\circ}K$ 以下로 대단히 安定되어 있음을 알 수 있다. 그림 7은 設定溫度에 따른 溫度變動 特性을 보여 준다. 溫度變動 特性은 60°C에서 10°C까지는 10分間の 溫度變動이  $1m^{\circ}K$  미만의 대단히 良好한 特性을 보였으나 10°C以下에서는 溫度變動이 심하였다.

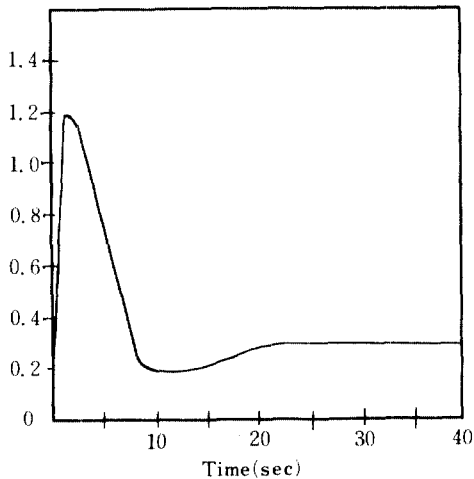


그림 5 온도 20°C에서 19°C로 變換時의 과도응답특성  
Transient response of the temperature change from 20°C to 19°C.

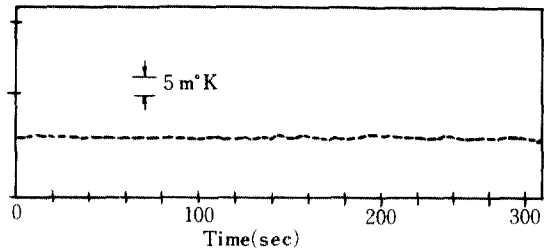


그림 6 設定溫度 20°C에서의 시간에 따른 온도변화 특성  
Temperature drift at 20°C for 5 minutes.

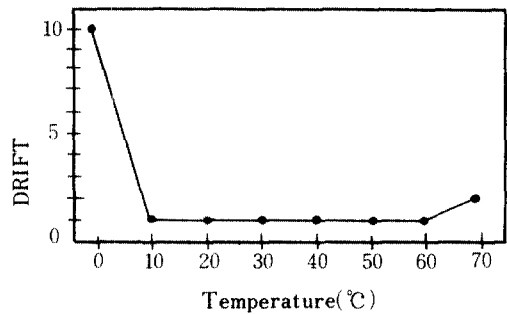


그림 7 設定 溫度에 따른 온도 변화 특성  
Characteristic of temperature drift for 10 minutes at each set point.

溫度에 對한 設定은 實際 設計값인  $-23^{\circ}C$ 에서  $+77^{\circ}C$ 까지 實驗한 바  $0^{\circ}C$ 以上은 임의 設定이 可能하였으나  $0^{\circ}C$ 以下는 效熱板의 有效面積 制約과 펠티에素子에의 供給電流 米달로 얻을 수 없었다. 따라서 強制 冷却을 爲한 送風裝置를 附着시킨 結果  $-5^{\circ}C$ 까지 얻을 수 있었으며, 알콜과 같은 液体 冷却 方式을 使用한 바  $-10^{\circ}C$ 까지 얻을 수 있었다.

#### 4. 結 論

半導體 레이저의 周波數 安定化를 爲하여 設計된 恒溫器의 溫度調節과 測定시스템에 對한 實驗 結果 얻어진 結論은 다음과 같다.

(1) 本 溫度 調節 裝置는  $10^{\circ}C$ 以上에서는 대단히 安定되어  $\pm 2m^{\circ}K$ 보다 좋은 溫度 變化 特性을 보였다. 따라서 半導體 레이저 周波數 安定을 爲한 溫度 安定化 시스템으로 實用이 可能하다.

(2) 任意의 溫度 設定이 可能하므로 半導體 레이저의 溫度에 따른 發振特性을 測定하기 爲한 恒溫器로써 매우 適合하다.

(3) 本 恒溫器를 0℃以下 -23℃까지 혹은 그 以下の 安定된 溫度를 얻기 爲해서는恒溫器內를 眞空으로 하여야 하며, 앞에서 實驗한 바와 같이 알콜과 같은 液体 冷却 方式을 取하고, 아울러 펄티에素子를 多段으로 使用함으로써 超低温을 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 本研究에서 얻은 結果 以上の 좋은 溫度特性을 얻을 수 있다.

本 論文을 위하여 研究費를 지원하여 주신 産學協同財團에 감사드립니다.

参 考 文 献

(1) H. Hori et al, "Frequency stabilization of GaAlAs laser using a Doppler-free spectrum of the C<sub>s</sub>-D<sub>2</sub> Line." IEE. J. QE. vol. QE-19, no. 2, pp. 169-175, Feb. 1983.  
 (2) H. Tsuchida et al, "Frequency stabilization of AlGaAs DH lasers." Japanes Journal of Applied Phys., vol. 20, No. 6, pp. L403~L406, June 1981.  
 (3) S. Yamaguchi et al, "Simultaneous stabilization of the frequency and power of an AlGaAs semiconductor laser by use of the optogalvanic effect of krypton." IEEE. J.

QE, vol QE-19, no. 10, pp. 1514~1519, Oct. 1983.  
 (4) F. Favre and D. Le Guen, "High frequency stability of laser diode for Heterodyne communication systems," Electronics Letters, vol 16, no. 18, pp. 709~710, Aug. 1980.  
 (5) 강민호외 2인, "Optical feedback 방식에 의한 Laser Diode의 출력 안정화," 대한전자공학회지, 제17권, 제 6 호, pp. 72~77, Dec. 1980.  
 (6) B. C. Kuo, "Automatic Control Systems," Chapter 6 and 10, Prentice-hall, 1982.  
 (7) 홍완희, "O. P. Amp. 를 이용한 정전압-정전류 전원회로에 대한 연구," 서울시립대학논문집, 제13집, pp. 213~225, 1979.  
 (8) 홍완희, "대선류용 CVCC 정전원 공급기에 관한 연구," 서울시립대학논문집, 제15집, pp. 367~379, 1981.  
 (9) J. Williams, "Designer's guide to: Temperature control," EDN, pp. 87~95, June, 1977.  
 (10) 井上宇市, "空氣 調和 調和 調和," 丸善, 1982.  
 (11) J. Williams, "Designer's guide to: Temperature measurement," EDN, pp. 71~77, May, 1977.  
 (12) B. C. Bloor et al. "Linearizing the thermister: A reminder that the thermister can be tamed." J. of clinical Eng., vol 7, no 4, pp. 301~304, Dec. 1982.  
 (13) Analog Devices, "Data-acquisition databook," 1982.  
 (14) Intersil Inc., "Linear IC databook," pp. 5-88~5-103, 1984.



林 明 鏞(Myeng Seob LIM) 正會員  
 1957年 9月28日生  
 1976年 3月~1980年 2月: 延世大學校工  
 科大學電子工  
 學科卒業  
 1984年 3月~現在: 延世大學校大學院  
 (博士課程)  
 1983年12月~現在: 大宇終合研究所  
 (研究員)



洪 玩 憲(Woan Hue Hong) 正會員  
 1949年 7月26日生  
 1969年 3月~1973年 2月: 崇田大學校電  
 子工學科卒業  
 1973年 3月~1975年 2月: 延世大學校大  
 學院卒業(工學碩  
 士)  
 1979年10月~現在: 서울市立大學電子工  
 學科(助教授)



朴 漢 奎(Han Kyu PARK) 正會員  
 1941年 6月21日生  
 1964年 2月: 延世大學校電氣工學科卒業  
 1968年 2月: 延世大學校大學院電氣工學  
 科卒業(工學碩士)  
 1973年: 불란서 파리대학교(소르본1대  
 학교) 博士課程修了( DEA)  
 1975年: 불란서 파리6 대학(ph. D)  
 1976年~現在: 延世大學校工科學電子  
 工學科教授.