

## 접합 온도를 고려한 TO-CAN 레이저 다이오드의 Screening 조건 연구

(Study on junction temperature characteristics  
of TO-CAN laser diode for optimized screening tests)

이동수\*

(Dong - soo Lee)

### 요 약

레이저 다이오드의 동작 수명을 예측하고 안정화된 성능과 신뢰도를 만족하기 위해서는 검증된 시스템으로 광부품의 신뢰성 테스트를 수행하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 온도와 인가 전류에 따른 접합 온도(junction temperature) 특성을 관찰하여 실제 주위 온도 ( $T_A$ )와 광소자의 온도( $T_j$ ) 차이를 이론 및 실험 적으로 도출하였고, 이를 토대로 정밀한 burn-in 테스트를 위한 screening 조건을 설정해 제시하였다.

### Abstract

To extract exact screening conditions of TO-CAN laser diode, junction temperature during screening was investigated. Temperature increase due to thermal resistance was measured and compared with theoretical calculation. Injection current dependence of injection temperature was derived with good agreement with experimental data and used to obtain accurate screening conditions.

Key Words : TO-CAN laser diode, junction temperature, thermal resistance, screening conditions

### 1. 서 론

광전자(Optoelectronics) 분야의 급속한 발전으로 새로운 소자 및 그와 관련한 기술이 끊임없이 도입되고 있다. 그러나 이러한 새로운 진전은 완전한 신뢰성 검증이 이루어질 때까지는 또 다른 위험성에 표출될 수 있다. 더구나 광소자의 경우 주위의 안전이 보장되지 않는 한계 상황이나 신뢰도가 매우 중

요하게 고려되는 곳에서 자주 사용되므로 더욱 그러하다. 현재 이러한 신뢰도 증진을 위하여 여러가지 테스트 방법을 고안하여 초기의 광학적 정렬의 불안정성 및 내재된 기계적 스트레스를 갖고 있는 제품을 걸러내기 위하여 특정한 조건을 부품 주위에 조성하여 검사하는 screening이라는 과정을 실행하게 된다. 특히 다양한 테스트 방법 중 잘못된 부품이나 안정성이 떨어지는 잠재적 불량품을 초기에 발견하여 제거하는 burn-in 테스트는 신뢰성과 관련한 기본적인 수단이며 많은 테스트 중에서도 매우 중요한 부분을 차지하고 있다. burn-in 테스트는 실제 사용 상태보다 높은 온도 조건에서 장시간 과중한 열적 스트레스

\* 주저자 : 김포대학 전자정보계열 교수  
Tel : 031-999-4776, Fax : 031-999-4775  
E-mail : dslee@kimpo.ac.kr  
접수일자 : 2002년 9월23일  
1차심사 : 2002년 9월30일  
심사완료 : 2002년11월 1일

를 부품에 가하면서 하게되는 실험이다. 이러한 burn-in 테스트는 일반적으로 두 가지 방법으로 구분 할 수 있는데 일정한 전류의 제어를 통하여 행하는 ACC(Automatic Current Control) 테스트와 또한 일정한 출력의 제어를 통하여 테스트를 진행하는 APC(Automatic Power Control) 테스트가 있다[1]. 본 연구에서는 ACC 방법을 이용한 burn-in 테스트를 통하여 온도와 인가 전류 증가에 따른 접합 온도( $T_j$ ) 특성을 관찰하여 실제 주위 온도( $T_A$ )와 광소자 온도( $T_j$ ) 차이를 이론 및 실험적으로 도출해내어 이를 토대로 보다 정밀한 burn-in 테스트를 위한 screening 조건을 설정해 제시하였다.

## 2. 레이저 다이오드의 열저항과 접합 온도

### 2.1 열저항 $R_{th}$

레이저 다이오드의 활성 영역(active region)의 온도는 그 주위의 온도(ambient temperature)와 동일하지 않는데 이는 레이저 다이오드 활성 영역의 전류 진행로에서 주울열(Joule heating)이 발생하기 때문이다. 따라서 이로 인한 레이저 다이오드의 국부적인 가열 현상이 나타나기 때문에 heat sink에서 레이저 칩(laser chip)을 장착(mounting)하는 방법에 따라서 그 온도 변화가 크게 달라진다. 이러한 온도 차이를 열전도로 표현할 수 있는데 이를 전위차로 간주한다면 두 지점 사이의 열기 흐름(heat flow)은 전류의 흐름으로 볼 수 있으며 이러한 두 물리량의 비율을 열저항(thermal resistance)이라고 정의 한다. 이 관계를 식으로 표현하면

$$R_{th} = \Delta T / P_{th} = \rho_{th} (l/S) \quad (1)$$

여기서,  $\Delta T$ 는 레이저 다이오드의 주위 온도와 광소자의 온도와의 차( $T_j - T_A$ ),  $P_{th}$ 는 열기 발생률,  $\rho_{th}$ 는 고유 열저항,  $l$ 은 열기의 진행 길이를,  $S$ 는 단면적을 의미한다.

또한 광소자의 접합 온도는 특정 인가 전류( $I_{op}$ )에 대하여 아래와 같은 관계를 가지고 있다.

$$T_j = R_{th} \times P + T_A \quad (2)$$

$P$  : 전력 소모량

$T_A$  : 주위 온도

전력 소모량은 TO-CAN 레이저 다이오드에 주입된 전체 입력 전력(total electrical input power:  $P_1$ )과 레이저 다이오드의 광출력(optical output power:  $P_2$ ) 간의 차이로 식 (3)과 같이 표현 할 수 있다.

$$P = P_1 - P_2 \\ = [V_{op} \times I_{op}] - [P_{frontfacet} + P_{rearfacet}] \quad (3)$$

$P_{frontfacet}$ 와  $P_{rearfacet}$ 는 각각 Fabry-Perot TO-CAN 레이저 다이오드의 공진기(cavity)에서 앞뒤 면을 통해서 빠져 나간 전력량으로서  $P_{frontfacet}$ 는 실제 출력을 목적으로,  $P_{rearfacet}$ 는 모니터(monitoring)을 위하여 패키지 내부에 장착된 검출기(m-Photo Diode)로 진행한 전력량을 표시한다.

### 2.2 4원계 반도체 화합물의 열저항

본 논문에서 사용된 TO-CAN 레이저 다이오드는 그림 1에서 보여 주고 있는 것처럼 1.55[ $\mu\text{m}$ ] 대역의  $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{AsyP}_{1-y}/\text{InP}$  4원계 반도체 화합물(ternary alloy)을 사용하였다. 전류 및 열기 흐름은 레이저 활성층을 통과하는 한 종류의 경로만을 고려하였다 [2].

광소자의 온도를 구하기 위한 열저항  $R_{th}$ 의 계산은 4원계에 해당하는 조성 비율 계수와 열전도도(thermal conductivity:  $K_{th}$ )를 이용하였다. 그 식을 아래에 열거 하면,

$$R_{th} = \rho_{th} (l/S) = (1/K_{th})(l/S) \quad (4)$$

$$K_1 = xy B_{AC} + x(1-y) B_{AD} \\ + (1-x)y B_{BC} + (1-x)(1-y) B_{BD} \quad (5)$$

접합 온도를 고려한 TO-CAN 레이저 다이오드의 Screening 조건 연구

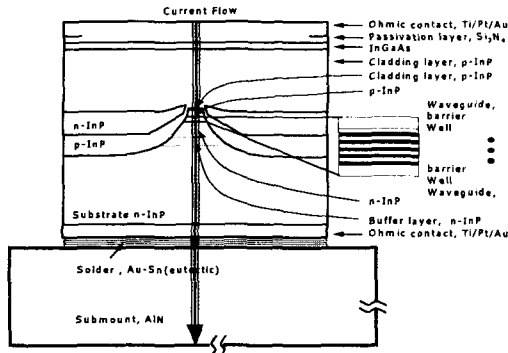


그림 1. 1.55μm 대역 Fabry-Perot 레이저 다이오드의 단면도와 열기 흐름

$$K_2 = -x(1-x)[y C_{ABC} + (1-y) C_{ABD}] - y(1-y)[x C_{ACD} + (1-x) C_{BCD}] \quad (6)$$

식(4)에서처럼  $K_{th}$ 는  $R_{th}$ 와 역수 관계이다. 일반적인 4원계 화합물  $A_x B_{1-x} C_y D_{1-y}$  (A는 Ga, B는 In, C는 As, D는 P에 해당)에 대한 열전도도  $K_{th}$ 를 구하기 위해서는 4원계 화합물의 격자 구조를 고려해야 하는데 그 이유는 4원계 화합물의 경우 같은 족이라고 할지라도 물질 내에 무작위로 분포 (random distribution)되어 있기 때문에 정확한 물질 계수(material parameter)를 구해 내기가 어렵기 때문이다[3]. 그러므로 잘 알려진 2원계(binary) 또는 3원계(ternary) 화합물의 자료를 linear interpolation하여 4원계 화합물 자료를 구해내야 한다. 식(5)는 그와 관련된 식이다. 게다가 열전도도는 화합물 조성에 따라 크게 영향을 받기 때문에 이 영향을 고려해 주기 위해서 4원계 물질 구조에 합당한 bowing parameter를 포함한 식(6)을 식(5)에 더하여 열전도도 및 열저항을 산출하였다[4][5]. 이렇게 구해진 값 즉 레이저 다이오드 칩, sub-mount 및 heat sink의 열기 전달 경로를 고려한 열저항 값과 식(3)에서 언급한 ACC burn-in 테스트 조건에서의 전력 소모량으로부터 접합 온도를 이론적으로 계산하였다.

### 3. 측정 실험 및 결과

실험적인 결과를 도출하기 위하여 기존의 burn-in

테스트 조건에서 (예: 85°C, 100mA) 증가된 광소자의 온도를 접합 온도 ( $T_j$ )로 정의하고 주변의 온도가 85°C로 안정화된 열챔버(thermal chamber)내부에 그림 2처럼 1550[nm] 대역의 FP(Fabry-Perot) TO-CAN 레이저 다이오드를 고정시킨 기판(PCB)을 장착 한 후 100[mA] 및 150[mA]의 전류를 인가하였다.

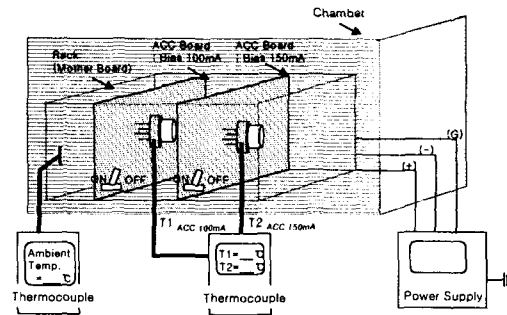


그림 2. TO-CAN 레이저 다이오드의 접합 온도 측정 실험도

측정 결과 그림 3에 나타난 것처럼 인가 전류가 클수록 온도의 상승폭이 컸고 시간에 따라 상승과 온도 유지를 반복하였다.

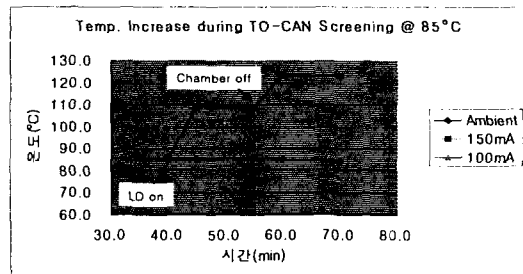


그림 3. 인가 전류(Iop)에 따른 접합 온도의 변화

이러한 현상은 레이저 다이오드의 온도가 전류에 의해 증가한 후 열대류가 있는 경우 외부 대류에 의하여 열적 평형을 이루려고 하므로 레이저다이오드의 온도는 더 이상 증가하지 않고 있다가 챔버를 끄면 대류는 더 이상 발생하지 않고 그 상태의 온도만을 유지하나 레이저 다이오드는 열저항에 해당하는 만큼 온도가 추가 상승하며 그 이후는 더 이상 온도가 오르지 못하고 평형 상태를 유지하기 때문인 것으로 사료된다. 100[mA]를 인가한 경우는 주변의 온도

에 비해 20°C 이상의 온도 차이를 150[mA] 인가의 경우에는 대략 40°C 정도의 온도 차이를 나타내었다.

초기 시간의 변화를 표1을 통하여 구체적으로 살펴 보면 열챔버의 내부 온도( $T_A$ )에 비해 TO-CAN 레이저 다이오드의 온도는 100[mA]를 인가한 경우 21°C 이상, 150[mA]를 인가 한 경우 38°C 이상의 차이를 나타내었으며 이는 실험적으로 측정된  $T_j$  값으로서 레이저 다이오드를 포함한 TO-CAN 패키지 전체의 열저항( $R_{th}$ )에 기인한 결과이다.

		TO-CAN LD #1 (at 100mA)		TO-CAN LD #2 (at 150mA)	
$T_A$ (°C)	Time	$T_{j1}$ (°C)	$\Delta T_1=(T_{j1}-T_A)$ (°C)	$T_{j2}$ (°C)	$\Delta T_2=(T_{j2}-T_A)$ (°C)
85.1	5분	106.8	21.7	123.6	38.5
84.1	10분	106.0	21.9	123.0	38.9

표 1. 인가 전류( $I_{op}$ )에 의한 chamber 내부 온도 및 TO-CAN 레이저다이오드 온도 차

앞서 설명한 이론 적인 계산식에 의거하여 산출한 값과 측정하여 얻은 결과를 함께 인가 전류의 증가에 따른 주위 온도와 접합 온도간의 차이 ( $\Delta T$ )로 그림 4에 나타내었다.

그래프의 결과에서 알 수 있듯이 계산에 의한  $\Delta T$  값은 측정 실험으로 얻어진 결과와 비교하였을 때 1°C 정도의 근소한 차이를 나타내었다.

#### 4. 결 론

광부품의 신뢰성 테스트를 수행하는데 있어 여러 가지 방법을 통하여 그 구동 특성과 성능 저하를 평가하게 되는데 그 중 대표적인 방법이 burn-in 테스트이다. 본 논문에서는 레이저 다이오드의 성능과 수명을 검증하기 위하여 ACC 방법에 기초한 burn-in 테스트를 통하여 접합 온도의 특성을 관찰하였다. 이를 근거로하여 레이저 다이오드 screening 조건 설정 방법을 제시하였다. 계산에 의하여 얻은 결과는 실험적으로 얻은 결과와 1°C 정도의 근소한 차이를 보였다. 이를 활용하여 인가 전류에 따른 광소자의 온도 증가량을 사전에 유추 가능하게 함으로써 burn-in 테스트 수행 시 보다 정확한 온도 조건을 설정할 수 있

조명 · 전기설비학회논문지 제16권 제6호, 2002년 11월

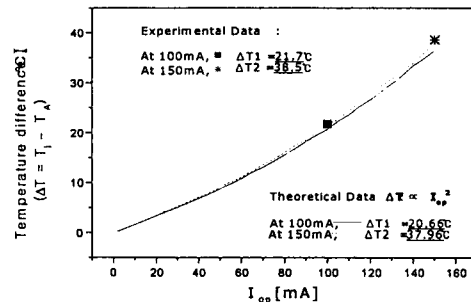


그림 4. 인가 전류( $I_{op}$ )에 의한 접합 온도 변화의 이론값과 실험값의 비교

음은 물론 이를 이용하여 신뢰성 시험 시에 챔버 내의 열적 순환을 원활히하여 온도 급상승을 방지할 수 있고 요구된 조건 이상의 고온 테스트를 지양 할 수 있어 본 논문에서 제안한 기법은 신뢰성 시험을 수행할 때 보다 합리적이고 유연한 시스템 구축에 기여하리라고 사료된다.

이 논문은 2002학년도 김포대학의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

#### References

- (1) Bellcore, "Generic reliability assurance requirements for optoelectronic devices used in telecommunications equipment", CR-486-CORE, issue 1, pp.4.5-4.22, 1998.
- (2) Y. Suematsu and A. R. Adams, "Handbook of semiconductor laser and photonic integrated circuits", Chapman & Hall, pp.98-99, 1994.
- (3) M. Guden and J. Pepek, "Material parameters of quaternary III-V semiconductors for multiplayer mirrors at 1.55μm wavelength", Modeling Simul. Mater. Sci. Eng., 4, pp.349-357, 1996.
- (4) Adachi S, Physical Properties of III-V Semiconductor Compounds, New York: Wiley, 1992.
- (5) Nawaski W "Thermal conductivity of binary, ternary, and quaternary III-V compounds" Jour.Appl.Phys. 64 159-66, 1988.

#### ◇ 저자소개 ◇

##### 이동수 (李同洙)

1958년 11월 8일생. 1981년 고려대학교 전자공학과 졸업. 1999년 고려대학교 공과대학원 졸업(박사). 2000년 - 현재 김포대학 전자정보계열 교수.