

# 고속 광통신 시스템용 비대칭 분포귀환형 레이저 다이오드의 신뢰성에 관한 연구

전수창, 주한성, 윤일구

연세대학교

## Reliability of Distributed Feedback Laser Diodes for High-speed Optical Communication Systems

Su Chang Jeon, Hansung Joo, Ilgu Yun

Yonsei University.

### Abstract

As the demand of internet networks using backbone communication systems recently increased, the researches on the high-speed wideband optical communication systems are required. For high-speed optical communication systems, asymmetric sampled grating distributed feedback laser diodes (DFB-LDs) are developed and the reliability of DFB-LDs is examined. The reliability of DFB-LDs is performed by monitoring I-V and L-I characteristics and two degradation phenomena related to the electrical characteristics of LDs are observed during the life tests. The first degradation phenomenon by increasing the reverse current is considered as a formation of leakage current path enough to prevent lasing operation in lateral blocking layer near active region of lasers. The second degradation phenomenon by decreasing the forward current is considered as activation of non-radiative Auger recombination process by thermal energy and the second degradation phenomenon is recovered after the off-test period at room temperature. Eventually, evaluating the reliability of DFB LDs can allow us to improved the manufacturability in high-volume manufacturing.

**Key Words** : Distributed feedback laser diode(DFB-LD), Reliability, Accelerated life test

### 1. 서론

최근 인터넷을 중심으로 네트워크에 대한 수요가 폭발적으로 증가함에 따라 데이터 처리용량 및 속도의 증대를 위해서 차세대 고속 광통신 소자에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 최근 파장분할방식을 통한 기술이 도입됨에 따라 구조를 통해 다양한 파장을 조절할 수 있는 분포귀환형 레이저 다이오드(Distributed feedback laser diode; DFB-LD)에 대한 연구가 활발히 이뤄지고 있다 [1-3].

본 논문에서는 DFB-LD의 구조 및 공정에 대한 상용화 가능척도를 알아보기 위하여 고온저장실험

(high temperature storage test)과 가속수명실험 (accelerating life test)을 통한 신뢰성 실험을 수행하였다. 고온저장실험은 소자에 열적 스트레스 이외에 어떤 스트레스를 가하지 않은 상태에서 진행되는 신뢰성 실험으로서 열적 스트레스에 대한 소자의 신뢰성을 실험하는 것이고, 가속수명실험은 소자의 동작 조건을 가속시킴으로서 진행되는데, 반도체 소자에 경우, 온도, 동작전압, 습도 등을 실제보다 심하게 인가하여 실험을 수행하며 이 결과를 통해서 실제 동작 조건에서의 소자의 수명을 효율적으로 예측 할 수 있다. DFB-LD에 대한 신뢰성 실험은 소자의 전류-전압 특성과 광출력 특성을 통해 진행되었다.

## 2. 배경이론 및 실험방법

### 2.1 신뢰성 실험의 기본 개념

소자 및 제품이 불안정한 기능을 가지고 규정된 성능을 발휘하지 못할 때, 이를 고장이라고 판정하며 구체적으로는 소자 자체의 기능이 모두 상실되는 파국고장(catastrophic failure)과 동작 특성의 점진적인 열화 및 성능의 저하 등으로 내구한계에 도달하는 열화고장(degradation failure)으로 구분된다. 신뢰성 연구에서는 제품 및 소자에서 이런 고장이 발생하게 될 때의 고장 형태인 고장모드(failure mode)와 제품을 고장에 이르게 하는 원인인 고장 메커니즘(failure mechanism)을 분석하게 된다. 신뢰성 연구에서 제품의 신뢰도는 일반적으로 확률로 정량화되고 있고 확률과 통계의 기본적인 개념을 기반으로 분석을 실험 및 분석을 실시하게 된다.

### 2.2 분포귀환형 레이저 다이오드(DFB-LD)

DFB-LD는 내부의 회절격자를 통해서 특정 주파수만을 캐환하는 성질을 가지고 있어서 원하는 주파수의 신호를 발생시킬 수가 있고, 빛의 여기 작용(pumping process)이 내부 회절격자를 통해 이뤄지기 때문에, 높은 신뢰성을 보이고 있는 것이 특징이라 할 수가 있다.

실험대상이 된 DFB-LD는 평판형 2중 헤테로 구조를 가지며 회절격자가 형성된 후에 활성영역과 계수이동층이 저압의 MOVPE(Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy)공정을 통해 제작되었다 [4]. 활성영역은 4개의 양자우물이 형성되었고, 계수 이동층은 브래그 파장을 5nm 이동시키기 위해서 InGaAsP( $\lambda_g=1.24\mu\text{m}$ )고 가지고 78nm의 두께로 형성되었다. 비대칭 구조로 제작되었으며 활성영역의 길이는 각각 400 $\mu\text{m}$ 가 되도록 하였고 활성영역의 양끝 단면에는 TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>을 이용하여 비반사 코팅을 하였다. 마지막으로 전극을 형성시키기 위해 Ti/Pt/Au 합금을 증착하고, 400°C에서 30초간 열처리를 거쳤다.

### 2.3 신뢰성 실험 방법

실험은 DFB-LD의 다이오드로서의 전기적 특성, 즉 전류-전압 특성의 변화를 가지고 진행되었으며, 전류에 대한 광출력 특성 변화를 통해 결과를 검증하였다.

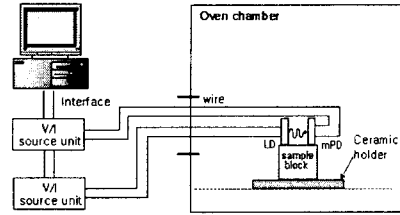


그림 1. 실험 측정 장비

실험은 그림 1과 같은 측정장비를 통해서 100°C/150°C의 두 온도에서 진행되었다. 광출력 특성을 측정에는 신뢰성이 높은 측정용 광검출소자가 사용되었으며, 다른 스트레스 요인 및 잡음성분을 제거하기 위하여 소자를 고정시킬 때 세라믹 판위에 샘플 블록을 사용하여 고정을 시켰고, 높은 온도에 민감하지 않은 테프론으로 피복이 된 전선을 사용하여 장비를 측정 장비에 연결하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 DFB-LD의 신뢰성 실험 결과

DFB-LD에 대한 신뢰성 실험 결과로서, 소자의 전류-전압 특성으로 얻을 수 있는 특성들이 소자의 광출력과 관계가 있다는 가정을 바탕으로, 열화의 경향이 다른 두 가지의 집합을 얻을 수가 있었다. 집합 A는 소자의 역방향 전류-전압 특성에서 매우 심한 열화를 가지고 있다. 그림 2.는 실험 후의 소자의 전기적 특성과 광출력 특성을 보여주고 있다. 일반적으로 역방향에서의 전류가 증가하는 것은 누설전류의 증가로 여겨지고 있다. 특히, 활성영역 주위로 형성되는 누설전류의 전류흐름은 소자의 레이징 동작을 방해하는 주요한 원인이 될 수 있다 [5]. 또한 A 집합에서 발견된 누설전류의 급격한 증가와 이를 통한 광출력 특성의 심각한 저하를 통해, 활성영역 주위에서의 누설전류의 전류흐름 형성을 짐작할 수가 있었다.

집합 B에서는 순방향 전류 및 광출력 특성에서 열화가 관찰되었다. 그림 3.은 그 결과들을 보여주고 있다. 하지만 실험 후 바이어스를 가하지 않고 상온에서 유지할 때, 그림 4.와 같은 회복현상이 관찰되었다. 이것은 B 집합에서 관찰된 순방향 전류에 대한 열화현상은 회복효과로 인해 소자의 신뢰성에 거의 영향을 미치지 못한다는 것을 말해준다

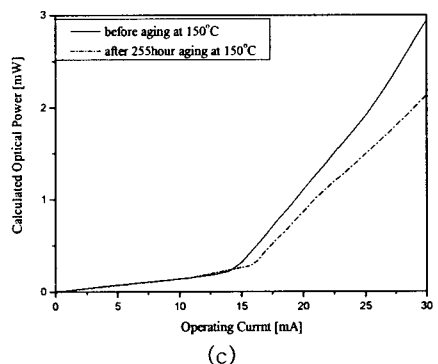
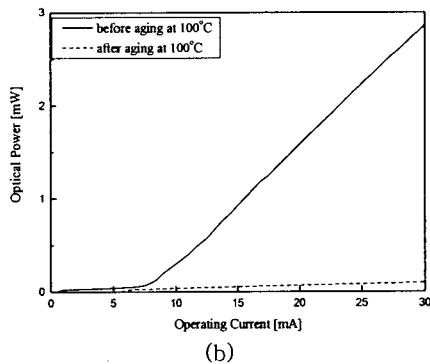
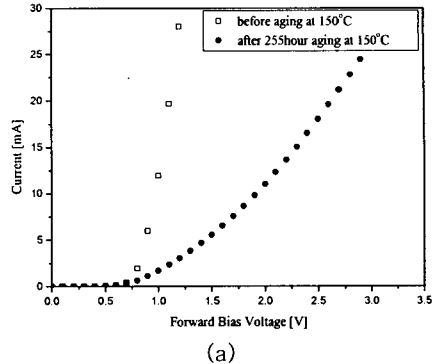
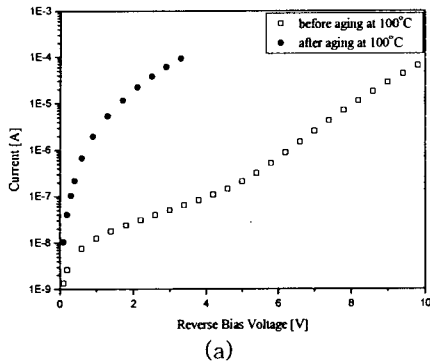


그림 2. 집합 A에서의 특성 변화: (a)역방향 전류-전압 특성, (b)광출력 특성

그림 3. 집합 B에서의 특성 변화: (a)순방향 전류-전압 특성, (b)광출력 특성

이것은 B 집합에서 관찰된 순방향 전류에 대한 열화현상은 회복효과로 인해 소자의 신뢰성에 거의 영향을 미치지 못한다는 것을 말해 준다. 임시적 열화현상은 활성영역에 존재하는 양자우물에 생기는 비방사 오제(Auger) 재결합의 열에 의한 변화로 설명할 수가 있다. 전체적인 오제과정(Auger process)은 온도에 의해 받게 되는 활성화 에너지에 의해서 변화를 가지게 된다 [6]. 즉, 고온상태에서 활성화되지 못했던 오제 과정도 활성화되고 비방사 오제 재결합이 활발히 일어나며 이는 광출력 특성의 저하 및 순방향 전류의 감소를 일으킨다. 이 과정은 온도에 의존하기 때문에 실험 후에 상온에서는 다시 오제 재결합이 줄어들어 소자특성의 회복현상이 일어나게 된다.

#### 4. 결론

초고속 광 통신망 구축을 위한 차세대 광통신 송수소자인 분포귀환형 레이저 다이오드(DFB-LD)에 대한 신뢰성 실험이 수행되어졌다.

실험은 소자의 전류-전압 특성과 광출력 특성을 통해 진행되었고, 본 논문의 경우 소자의 전류-전압 특성을 통하여 소자의 신뢰성을 판단한 후, 광출력 특성을 통해 이를 검증하였다. 실험결과, 전류-전압 특성에서 두 가지 열화 메커니즘을 발견할 수가 있었는데, 두 가지 열화 모두 소자의 광출력 특성 저하를 일으키는 것으로 나타났다. 하지만, 순방향 전류-전압 특성에서는 실험 이후에 상온에서 특성이 회복되는 현상이 관찰되어 이에 대한 분석을 수행하였고, 결과적으로 역방향 전류-전압 특성에서 발생한 성능 저하가 소자의 수명을 결정하는데 영향을 미치는 중요한 고장 메커니즘이라는 것을 알 수가 있다. 이러한 광도파로형 포토다이오드 및 분포귀환형 레이저 다이오드에 대한 신뢰성 연구를 통하여 각 소자의 고장 모드와 고장 메커니즘을 분석함으로써, 소자의 고장원인이 규명되어 소자의 제작과 설계에 반영되고, 신뢰도 또한 동시에 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

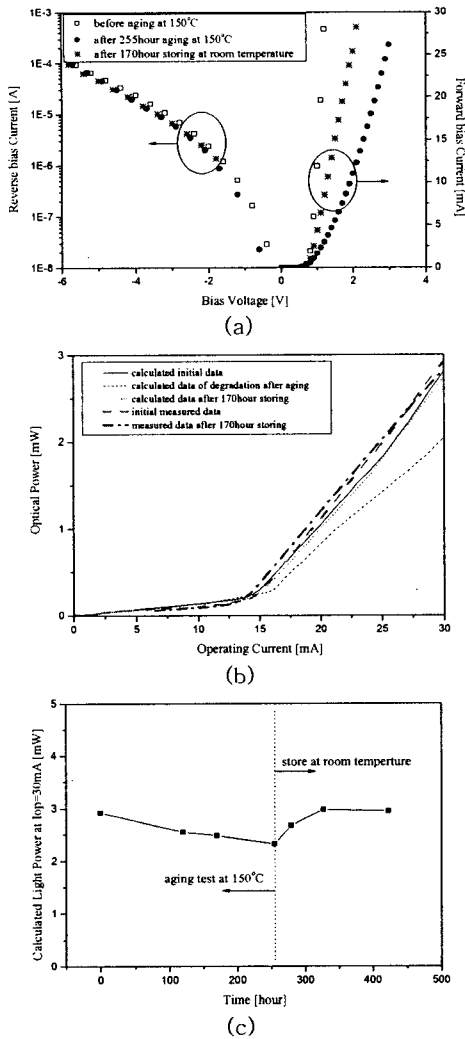


그림 4. DFB-LD의 집합 B에서의 회복현상 : (a) 전류-전압 특성, (b) 전류에 따른 광출력 특성, (c) 시간에 따른 광출력 특성의 변화

### 감사의 글

이 논문은 2005년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음.

### 참고 문헌

[1] N. K. Dutta, S. G. Napholtz, T. Cella, T. Wessel, R. L. Brown and P. J. Anthony, "1.3- $\mu$ m InGaAsP distributed feedback laser," J. of Applied. Physics., Vol. 59, No. 6, p.

1811-1814, 1986.  
 [2] S.-W. Ryu, S.-B. Kim, J.-S. Sim, and J. Kim, "1.55  $\mu$ m Spot-Size Converter Integrated Laser Diode With Conventional Buried-Heterostructure Laser Process," IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 14, No. 1, p. 12-14, 2003.  
 [3] T. Takiguchi, Y. Hanamaki, T. Kadowaki, T. Tanaka, M. Takemi, N. Tomita, Y. Mihashi and E. Omura, "High speed 1.3  $\mu$ m AlGaInAs DFB-LD with  $\lambda/4$ -shift grating," Proc. 2001 IPRM Int. Conf. IEEE, p. 140-142, 2001.  
 [4] S.-W. Ryu, S.-B. Kim, J.-S. Sim, and J. Kim, "Asymmetric Sampled Grating Laser Array for a Multiwavelength WDM Source," IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 14, No. 12, p. 1656-1658, 2002.  
 [5] P. I. Kuindersma, A. Valster, and W. Baks, "1.3  $\mu$ m Buried Heterojunction Laser Diodes Under High Electrical Stress: Leakage Currents and Aging Behavior," IEEE J. of Quantum Electron., Vol. QE-21, No. 6, p. 726-736, 1985.  
 [6] G. G. Zegrya, and A. S. Polkovnikov, "Mechanisms of Auger recombination in quantum wells," J. of Experimental and Theoretical Physics, Vol. 86, No. 4, p. 815-832, 1998.