

레이저 웰딩 기술을 이용한 고속 광통신용 송신모듈 제작 및 특성 연구

강승구*, 송민규, 장동훈, 편광의
한국전자통신연구소 화합물반도체연구부

Characteristics of High Speed Optical Transmitter Module Fabricated by Using Laser welding Technique

Seung Goo Kang, Min Kyu Song, Dong Hoon Jang and Kwang Eui Pyun
Compound Semiconductor Dept., Electronics and Telecommunications Research Institute

Abstract In long-haul high speed optical communications, the distance between a transmitter and a receiver depends on the amount of light coupled to a single mode optical fiber from the laser diode(LD) as well as the LD characteristic itself. And the transmitter module must have long lifetime, high reliability, and even simple structure. Such points have induced laser welding technique to be a first choice in opto-electronic module packaging because it can provide strong weld joint in a short time with very small coupling loss. In this paper, packaging considerations and characteristics for high speed LD modules are discussed. They include optical path design factors for larger aligning tolerance, and novel laser welding processes for component assembly. For low coupling loss after laser welding processes, the optical path for optimum coupling of a single mode optical fiber into the LD chip was designed with the GRIN lens system providing sufficiently large aligning tolerance both in the radial and axial directions. The measured sensitivity of the LD module was better than -33.7dBm(back to back) at a BER of 10^{-10} with a 2.5Gbps NRZ $2^{23}-1$ PRBS.

1. 서론

고속 광통신용 광모듈 제작을 위해서는 전기적, 열적, 광학적 그리고 기계적인 설계 및 제작이 신중히 고려되어야 한다. 광통신에서의 중계 거리는 레이저 다이오드로부터 단일모드 광섬유로 접속되는 광의 양에 의존하므로 장거리 고속 광통신 시스템을 위해서는 광결합 효율의 극대화가 필요하다 [1,2] 기계적으로는 외부의 환경 변화에도 모듈의 특성이 장기간 유지될 수 있도록 견고하고 안정된 모듈을 제작하는 것이 목적으로 모든 광모듈에서 공통적으로 요구되는 사항이다.

레이저 다이오드와 단일모드 광섬유간의 광결합에 있어서 가장 간편한 방법이 (1)butt joint coupling 인데 광결합 효율이 매우 작아(최대 25% [3]) 광결합 효율을 증가시키기 위해서 (2)tapered

fiber 혹은 microlens를 사용하는 방법, (3)적당한 크기의 렌즈 2개를 쓰는 confocal two lens 광결합 방법, (4)렌즈와 virtual fiber (광섬유 끝에 GRIN rod lens를 부착시켜 제작)를 이용하는 방법 그리고 (5) hemispherical GRIN rod lens 등 single lens를 사용하는 광결합 방법이 이용되고 있다[4].

본 연구에서는 수차를 줄인 간단한 single lens를 이용하여 레이저 다이오드의 개환광을 줄이고 광결합 효율 및 광정열 허용오차를 증가시키고자 하였다. 이렇게 적절한 광결합 효율을 얻을 수 있는 광학계가 구성되면 이들 광학계를 견고하고 정확하게 고정시킬 수 있는 결합 방법을 선택하여야 한다. 광부품 고정 방법은 크게 에폭시를 이용하는 방법, soldering 방법 그리고 레이저웰딩을 이용하는 방법이 있는데 본 실험에서는 가장 빠른 웰딩 방법이고 작은 레이저빔을 사용하므로 열적으로 영향을 받는 영역이 작아 웰딩 후의 위치 변화가 거의 없으며 웰딩부품을 직접 녹여 붙이므로 웰딩 부위가 매우 강하고 신뢰성이 좋은 레이저웰딩법을 이용하여 광결합 효율을 극대화하고 모듈의 신뢰성을 높이므로써 모듈의 특성을 향상시키고자 하였다.

2. 본론

본 연구에서 사용한 광학계는 기본적으로 레이저 다이오드와 GRIN rod lens, optical isolator 그리고 광섬유로 구성되어 있다. 광결합의 최대 목표는 레이저 다이오드에서 발생한 빛을 렌즈를 사용하여 광섬유 코어에 최대한으로 접속 시키는 것이다. 광결합 효율을 높이기 위해 요구되는 사항으로는 광섬유 코어가 원형이므로 레이저 다이오드의 beam pattern이 원형에 가까울수록 mode field mismatch를 줄일 수 있어 광결합 효율을 증가시킬 수 있고, 반

도체 레이저 광의 발산 각도가 작을수록 구면수차에 의한 광결합 손실을 줄일 수 있다.

렌즈의 선택은 우선 레이저 다이오드의 발광면적 직경(near field diameter)과 광섬유 코어의 field diameter를 일치시킬 수 있는 확대 배율과 optical isolator를 삽입시킬 수 있는 공간 확보가 필요하고 수차를 가능한 한 줄인 렌즈를 선택해야 하며 반사를 줄이기 위해서 1.55 μm 의 파장에 대한 무반사 코팅이 되어 있어야 한다.

실험에 사용한 레이저 다이오드는 ETRI에서 제작한 2.5Gbps 광통신용 MQW-PBH-DFB LD로 측정된 far field pattern($40^\circ \times 36^\circ$)을 이용하여 near field pattern을 추정($2\omega_{\perp} : 1.36\mu\text{m}$, $2\omega_{\parallel} : 1.54\mu\text{m}$)하므로 써 단일모드 광섬유(코어 직경: 9.8 μm , field diameter: 10.5 μm)와의 mode field match를 위한 확대 배율 계산치 $m = 7$ 을 얻었다. Far field pattern으로 부터 레이저 광의 수평/수직의 FWHM(Full Width at Half Maximum) 비는 0.88로 대체로 원형에 가까운 것을 알 수 있었다. 광결합에 사용한 렌즈는 반지름 1.8mm 의 plano-convex 형의 GRIN rod lens로 실제로 광정렬을 수행한 결과로 부터 최적 광결합 배율 $m = 7$ 을 얻었는데 계산치와 잘 일치함을 알 수 있으며 0.45dB loss에서의 횡방향의 광결합 정렬 허용오차가 $\pm 2.35\mu\text{m}$ 로 매우 정밀한 광결합이 요구됨을 알 수 있다.

또한 광결합 효율을 높이기 위해서는 모든 광학 부품의 광축이 일치해야 하는데 모듈 제작시 광축을 정확히 일치시키기가 매우 어렵다. 그림 1에는 광축이 일치하지 않으므로 해서 발생하는 wave front의 왜곡 현상(coma)을 보여 주는 것으로 실제로 광축이 일치했을 때의 광결합 효율 보다 훨씬 낮은 값(본 실험에서는 광축이 잘 일치했을 때의 70% 정도)을 갖는다. 따라서 각 부품의 광축을 일치시키기 위해서 웰딩용 부품 가공 및 부품의 정렬 방법이 신중히 고려되어야 한다.

미리 수행된 광결합 실험에서 얻어진 최적의 번수값(l_1 : LD와 렌즈와의 간격 및 l_2 : 렌즈와 광섬유의 간격)을 유지하기 위해 레이저웰딩용 부품을 설계하였으며 이에 대한 조립도를 그림 2에 보였다. 이때 웰딩부품은 웰딩 및 가공이 용이한 SUS304L을 선택하였으며 정렬에 가장 민감한 부분인 광섬유의 횡방향 정렬 후 welding은 post weld shift를 줄이기 위해서 lap-fillet을 수행하였다[5]. 웰딩부위가 충분한 접합 강도를 갖으려면 강한 레이저 빔의 주사가 필요하나 이 경우 녹는 부위가 커져서 post

weld shift를 증가시키게 되므로 실험을 통해서 웰딩부위의 균열이 없고 충분한 shear strength를 갖으면서 post weld shift를 최소로 하는 레이저 빔의 적정 주사 조건을 찾아야 한다. 따라서 모듈 제작 후의 안정화 및 post weld shift를 줄이기 위한 레이저(Nd-YAG laser)에 대한 최적 조건을 설정하기 위해서 각 부품을 레이저웰딩한 후 단면을 관찰하고 shear test를 수행하였다. 이상에서 적정 조건으로 결정된 레이저 빔의 조건은 focus point에서의 빔 직경이 600 μm 이고 펄스폭이 3msec인 단일 펄스로 각 빔당 주사되는 에너지는 3.5J이었다. 레이저웰딩을 위해서는 일반적인 철금속의 경우 $10^5 - 10^6\text{W/cm}^2$, Cu나 Al 같은 반사가 큰 금속의 경우 약 10^7W/cm^2 의 power가 요구되는데[6] 본 실험에서는 $4.1 \times 10^5\text{W/cm}^2$ 의 power가 적정한 것으로 나타났다. 레이저웰딩법을 이용하여 제작된 모듈 56개에 대한 광결합 효율 및 post weld shift 분포도를 그림 3에 보였는데 광결합 효율 이 최대:47.5%, 최소:20%, 평균:34%($\sigma=5\%$) 이고 거리로 환산된 post weld shift가 최소:0 μm (0dB), 최대:2.5 μm (0.4dB), 평균:1.2 μm (0.19dB)로 정렬이 가장 까다로운 tapered fiber와 레이저 다이오드와의 광결합(1dB loss에서의 광결합 정렬 허용오차 : $\pm 0.4 \sim 0.6\mu\text{m}$ [7]) 및 레이저 웰딩도 가능함을 알 수 있어 레이저웰딩을 이용한 부품조립의 우수성을 보여 주고 있다.

이렇게 제작된 sub-module은 chip thermistor와 chip inductor가 장착되는 bias 회로기판과 TEC(thermo electric cooler)와 함께 main module내에 장착되어 실제로 시스템에 사용되는 완전한 LD module로 완성되며 이를 그림 4에 보였다. 완성된 모듈의 특성은 그림 5과 같은 측정 시스템을 이용하여 평가하였는데 그림 6에서와 같이 레이저 다이오드의 pre-bias를 1.5Ith로 고정시키고 NRZ Pseudo random signal을 전송해 본 결과 10^{-10} BER(Bit Error Rate) 에서의 본 LD module에 대한 기준 수신기의 수신감도가 -33.7dBm(back to back), -33.1dBm(50Km fiber 전송)을 보이는 매우 우수한 모듈임을 알 수 있다.

3. 결 론

광모듈 제작시 필요한 최적의 광결합을 위해 single lens를 사용하여 광정렬 허용오차를 늘리고 (0.45dB loss에서 $\pm 2.35\mu\text{m}$ 이내) 평균 광결합 효율:34%(최고:47%, 최저:20%)를 얻었다. 또한 레이저 웰딩법을 이용하여 각종 광부품을 결합하므로 써

광결합 및 기계적인 측면에서 매우 안정된 모듈을 제작하였다. 레이저웰딩의 결과 레이저웰딩용 부품을 적절히 설계, 제작하여 post weld shift를 최소:0 μ m, 최대:2.5 μ m 평균:1.2 μ m 이하로 줄이므로써 매우 정교한 광결합이 요구되는 부품간의 조립을 빠르고 안정되게 수행할 수 있게 되었으며 제작된 LD module을 이용한 전송실험 결과 10⁻¹⁰ BER(Bit Error Rate)에서 기준 수신기의 수신감도가 -33.7dBm (back to back), -33.1dBm(50Km fiber 전송)을 보이는 매우 우수한 모듈로 평가되었다.

4. 참고문헌

1. M. Saruwatari et al., Electron. Lett. 14; 187(1978)
2. J Yamada et al., IEEE J. Quantum. Electron. QE-14, 791(1978)
3. M. Saruwatari et al., Appl. Opt. 18, 1847(1979)
4. Kenji Kawano, Appl. Opt. 25, 2600(1986)
5. 강승구의, 한국광학회지 제5권 제1호, 166(1994)
6. Harald N. Bransch, Photonics Spectra, 107(1991)
7. G. Wenke and Y. Zhu, Appl. Opt. 22, 3837(1983)

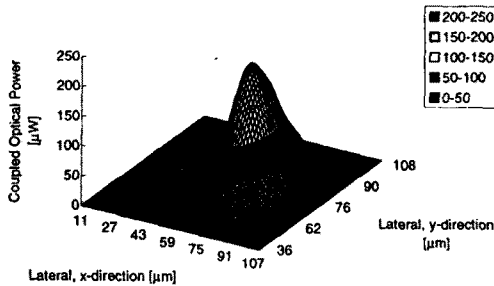


그림 1. 광축이 일치하지 않을 때, 촛점에서 -300 μ m 떨어진 곳에서의 beam pattern

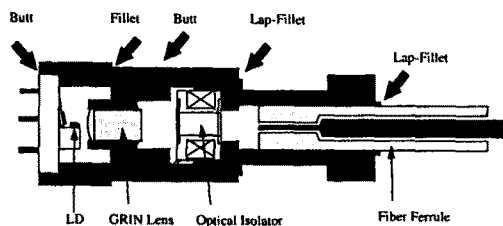


그림 2. 레이저웰딩용 서브모듈 설계 및 조립도

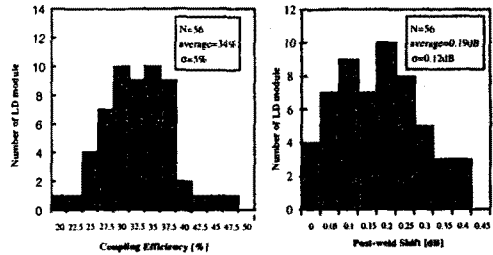


그림 3. 제작된 모듈 56개에 대한 광결합 효율 및 post weld shift 분포도

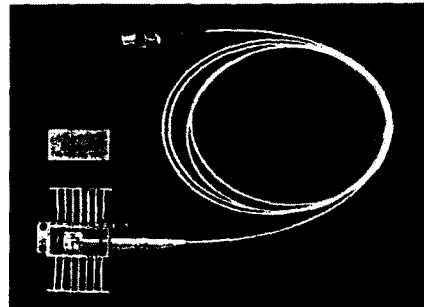


그림 4. 완성된 LD module의 사진

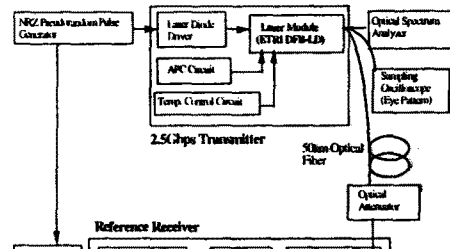


그림 5. 완성된 LD module을 이용한 전송특성 실험 구성도

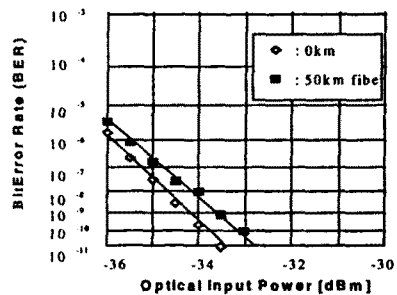


그림 6. 측정된 전송특성