

광가입자용 수동광정렬형 광송신 모듈에 대한 광결합 효율 및 패키징

김상곤

한양대학교 물리학과

송민규

한국전자통신연구원 회로소자기술연구소 화합물반도체부

(2000년 1월 25일 받음, 2000년 5월 16일 수정본 받음)

초고속정보통신망을 구성하는 교환기(ATM system)과 전송부문(B-NT(Broadband Network Termination) system, 10G 전송 system 등)에 사용할 수 있는 155 Mbps 수동 광정렬 방식의 광송신 모듈의 광결합 효율과 정렬오차 허용도를 계산하고 이를 적용한 엔지니어링 샘플로부터 이론치 비교와 flat-광섬유를 이용한 butt 커플링 패키징 방법으로 최대 -4.5 dBm 광출력을 갖는 광송신기 제작 및 신뢰성 검사로 값싼 광송신기 제작에 대하여 알아보았다.

OCIS codes : 060.0060, 230.0230.

I. 서 론

일반적으로 LD(laser diode) 패키지의 성능과 신뢰성을 결정 짓는 가장 중요한 요소로 SMF(single mode fiber) 사이의 광 신호 커플링은 광신호 전력 커플링 효율(coupling efficiency: η)과 정렬오차 허용도(misalignment tolerance)의 trade-off 관계에 있다. 커플링의 효율을 높이기 위하여 SMF 단면을 가공하거나^[1] 광학 렌즈를 이용하여^[2] 모드(mode) 크기를 비슷하게 해서 높은 커플링 효율을 얻을 수 있다. 정렬오차 허용도는 주어진 광신호 커플링 효율 범위내에서 허용되는 LD-SMF 간의 상대적인 정렬오차 허용치를 나타내는 것으로 주위 온도변 화등에 기인할 수도 있는 LD-SMF 간 물리적 간격 변화에 대한 안정성을 보장하는 범위이다. LD와 광섬유 사이의 butt 커플링은 가장 간단한 결합 방법이면서 정렬 오차 허용도가 큰 장점이 있는 반면 결합효율이 낮고^[2] 최적 결합을 위해서는 LD와 광섬유가 서로 접촉되어야 하는 단점 때문에 실제 패키징(packaging)에서 거의 사용하지 않고 있다.

본 논문에서는 155 Mbps급 가입자용 송신모듈을 제작시에 가격 경쟁력 및 소형화 위하여 flat-광섬유를 이용한 butt 커플링 방법을 사용한 수동 광정렬의^[3] 광송신 모듈의 효율과 패키징을 소개하고자 한다. 계산치의 정렬오차 허용도를 구하는데 gaussian 빔 근사법을 이용하였으며, fresnel 반사에 의한 손실, 광섬유내에서의 back-scattering에 의한 손실, 광섬유 단면 불량에 따른 손실, LD-SMF 모드가 완전히 gaussian이 아니어서 오는 계산 손실은 무시하였다. 그림 1은 플립칩(flip-chip) 공정을 이용하여^[4] LD와 SMF 사이의 광신호 butt 커플링을 이루는 패키징 구조도이다. (a)는 패키징 구조도를 (b)는 정렬오차 좌표계를 나타낸 것이다. 정렬오차 허용도는 광신호 커플링 효율과 광섬유에서 나오는 광출력을 유지시키기 위하

여 광섬유를 광축에 정렬시 발생하는 횡축 및 종축상의 오차, LD 칩을 v-홈 기판위에 플립칩 본딩시 야기될 수 있는 LD 칩의 tilt 영향에 대한 오차의 한계가 얼마나 되는지 정량적으로 분석하였다. 또한 엔지니어 샘플(engineer sample)을 만들어 실험결과를 계산결과에 비교하였다. II장에서 광결합 정렬 오차의 요인과 커플링 효율계산 방법을 소개하고 III장의 전산 모사 및 논의에서 전산모사로 광결합 효율에 대한 정렬오차 허용도를 구하여 실험결과와 비교 및 논의하였고 IV장에서 송신모듈 제작 및 측정결과를 V장에서는 신뢰성 검사를 VI장에서는 결론으로 맺었다.

II. 정렬 오차의 요인 및 계산식

광결합의 정렬 오차의 요인으로 광소자, 광섬유, 그리고 광소자와 광섬유의 정렬오차로 나눌 수 있다. 그림 2는 광소자 정렬오차를 나타낸 것으로 LD를 Si 광학벤치에 플립칩 본딩(flip-chip bonding)시 발생하는 변수로 받침대(stand-off) 높이 정렬오차(Δh), 범프(bump) 정렬오차(Δr)을 나타낸 것이다. 그림 3은 광섬유 정렬오차를 나타낸 것으로 변수들은 Si 광학벤치의 윗면에서 광섬유 중심까지 거리 h , 광섬유가 v-홈에 들

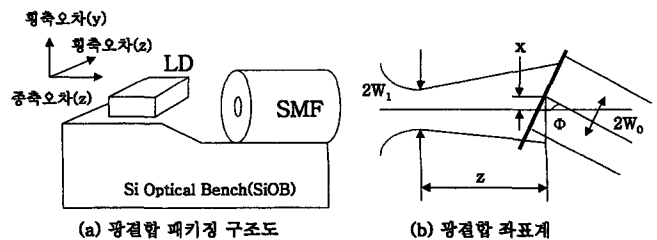


그림 1. LD 칩과 광섬유와의 광결합 설명도.

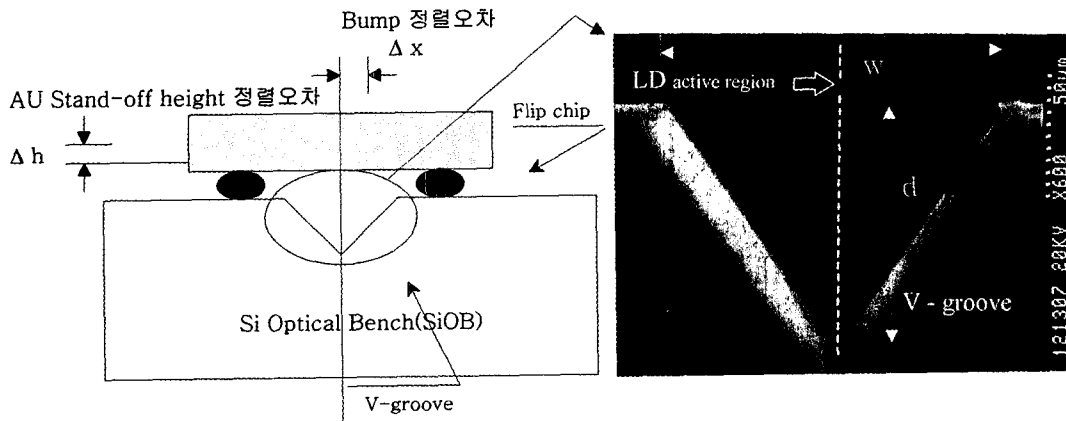


그림 2. 광소자 정렬 오차.

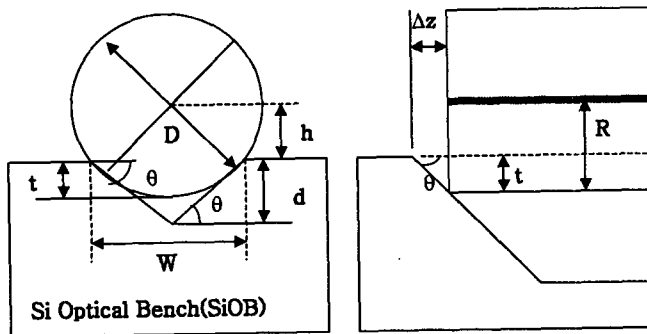


그림 3. 광섬유 정렬 오차.

어간 깊이 t , v-홈의 높이 d , v-홈의 밑면 w , v-홈의 경사각 θ , 광섬유 직경 D 가 있다. h 를 다른 변수로 표현한 관계식은

$$h = \frac{D}{2\cos\theta} - w \frac{\tan\theta}{2} \quad (1)$$

이다. 광소자와 광섬유의 정렬오차는 그림 1(b)에서 횡축 정렬 오차(x, y), 종축 정렬오차(z), tilt 정렬오차(ϕ) 값을 말한다. 여기서 횡축 (x, y)의 정렬오차는 광소자의 범프(bump) 정렬오차, AU 받침대 높이 정렬오차 및 광섬유의 정렬오차를 나타낸다.

광결합 커플링 효율^[5,6]은 LD와 SMF의 모드 field가 gaussian 함수라는 가정하에서 관계식은

$$\eta = \eta^{(x)} \cdot \eta^{(y)} \quad (2)$$

$$\eta^{(x)} = \eta_z^{(x)} \cdot \eta_{d,z}^{(x)} \cdot \eta_{\phi,z}^{(x)} \cdot \eta_{d,\phi,z}^{(x)} \quad (3)$$

$$\eta_z^{(x)} = \frac{2}{w_{of} w_x \left[\left\{ \frac{1}{w_x^2} + \frac{1}{w_{of}^2} \right\}^2 + \left\{ \frac{k}{2R_x} \right\}^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (4)$$

$$\eta_{d,z}^{(x)} = \exp \left[-2d^2 \frac{1}{w_{of}^2 \left[\frac{1}{w_x^2} + \frac{1}{w_{of}^2} \right] + \left\{ \frac{k}{2R_x} \right\}^2} \right] \quad (5)$$

$$\eta_{\phi,z}^{(x)} = \frac{\left[\frac{(\phi n_0 k)^2}{2} \left\{ \frac{1}{w_x^2} + \frac{1}{w_{of}^2} \right\} \right]}{\left\{ \frac{1}{w_x^2} + \frac{1}{w_{of}^2} \right\}^2 + \left\{ \frac{k}{2R_x} \right\}^2} \quad (6)$$

$$\eta_{d,\phi,z}^{(x)} = \exp \left[2d\phi n_0 \frac{\left(\frac{k}{w_{of}^2} \right) \left(\frac{k}{2R_x} \right)}{\left\{ \frac{1}{w_x^2} + \frac{1}{w_{of}^2} \right\}^2 + \left\{ \frac{k}{2R_x} \right\}^2} \right] \quad (7)$$

$$R_x(z) = \frac{4z^2 + (kw_{ox}^2)^2}{4z} \quad (8)$$

$$w_x(z) = \frac{[4z^2 + (kw_{ox}^2)^2]^{\frac{1}{2}}}{kw_{ox}} \quad (9)$$

이다.

여기서, z : LD에서 광섬유까지 거리 [μm],

d : 횡축 이탈(lateral offset) [μm],

w_{of} : 광섬유의 빔 waist,

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$: 자유공간의 파장수,

λ : 파장,

n_0 : fiber의 굴절률

ϕ : tilt [radian] ($= \frac{\theta\pi}{180}$),

$w_{ox,oy}(z)$: x축 또는 y축에서 near field 패턴,

$w_x(z)$: x축에서 증폭된 spot size,

$R_x(z)$: x축에서 wavefront의 볼록 반지름,

$\eta_z^{(x)}$: x 방향에서 광결합 효율,

$\eta_{d,z}^{(x)}$: x 방향에서 횡이탈에 따른 광결합 효율,

$h_{\phi,z}^{(x)}$: x 방향에서 tilt에 따른 광결합 효율,

$h_{d,\phi,z}^{(x)}$: 이탈, tilt 및 떨어짐에 따른 광결합 효율,

$\eta^{(x,y)}$: 광결합 효율의 x-축 또는 y-축 성분,

η : 전체 광결합 효율.

III. 전산모사 및 논의

식 (2)-(9)에서 표 1의 변수들을 적용하여 광결합 효율을 계산 하였다. 그림 4는 계산한 광결합 효율을 나타낸 것이다. (a)는 종방향(z)의 이탈정도에 따른 LD와 광섬유간의 광결합 효율의 실험치와 이론치를 나타낸 것이다. LD의 평균 far field pattern은 12(수평 및 수직)이다. 실험치는 종축으로 20 μm 일 때 최대값을 갖으나 이론치는 0 μm 일 때이다. 이는 실리콘 기판위의 광섬유의 정렬이탈이 원인으로 고정용 뚜껑을 사용하여 광섬유를 압착하면서 epoxy를 경화시켰으나 모세관 현상에 의해 v-홈과 광섬유 밀단 사이의 공간으로 침투하여 경화시 침투물 부피로 인하여 광섬유의 수식 방향 정렬 오차를 발생시켰다. 또한 SMF가 이상적으로 flat 하지 않고 일직선이 아니며 큐닝시 광섬유가 팽창한 것등을 고려할수 있다. 20 μm 이상에서는 이론치가 잘 맞는 것을 알 수 있다. 광결합 효율의 최대값은 9.23%이며 1 dB 손실의 광정렬 허용 오차내에 들기 위하여는 광섬유 정렬 및 고정 후 이탈되는 정도가 종축(axial) 방향으로 26 μm 내에 있어야 함을 알수 있었

표 1. 계산에 사용된 변수값

Parameter	Value
W_{0x} (레이저 거울면에서 수평방향 Beam Waist)	0.77 μm
W_{0y} (레이저 거울면에서 수직방향 Beam Waist)	0.68 μm
W_f (광섬유의 Beam Waist)	4.65 μm
λ	1.31 μm
n_0	1.47
광섬유 cladding 직경	125 μm

다. (b)에서 광섬유를 최적의 광결합 상태(즉, $z=0, d=0$)로 정렬한 후 광축으로부터 횡축으로 1-4 μm 까지 이탈시켰을 때 LD가 광축으로부터 5도까지 tilt 시켰을때의 광결합 효율을 보여주고 있다. 5도까지 LD를 tilt 하면 광결합 효율이 1 dB 손실됨을 알 수 있었다. (c)에서는 LD와 광섬유를 최적상태 ($d=0, \theta=0$)로 정렬한 후 LD를 광축으로부터 0-4도까지 tilt 시켰을 때 종축방향에 대한 광결합 효율변화를 보여주고 있다. LD를 0-4도까지 tilt 시켰을 때 종축방향에 대한 1 dB의 광정렬오차는 26 μm 에서 점차적으로 감소하여 6 μm 이내로 줄어드는 것을 확인하였다. (d)에서는 LD와 광섬유를 최적상태 ($d=0, \theta=0$)로 정렬한 후 LD를 광축으로부터 횡방향으로 0-4 μm 까지 이탈 시켰을 때 종축방향에 대한 광결합 효율변화를 보여주고 있다. LD를 0-2 μm 까지 이탈 시켰을 경우, 종축방향에 대한 광결합 효율은 LD로부터 멀어질수록 감소하였으나, 2 μm 이상 이탈되면 광결합 효율이 광섬유가 종방향으로 LD로부터 멀어질수록 증가하여 최적상태의 조건을 가짐을 알 수 있다. 따라서 1 dB 손실 광섬유 정렬의 허용오차내에 들기 위해서 각각의 최적조건에서 종축(axial) 방향으로 26 μm , 횡축 방향으로 1 μm , tilt 각도는 1도 내에 들어야 함을 알수 있다.

표 2. 광섬유 정렬 변수 단위: μm

	6.8	7	7.2
h			
w	143.105	142.825	142.545
d	102.177	101.977	101.777
t	55.7	55.5	55.3
Δz	38.99	38.85	38.71

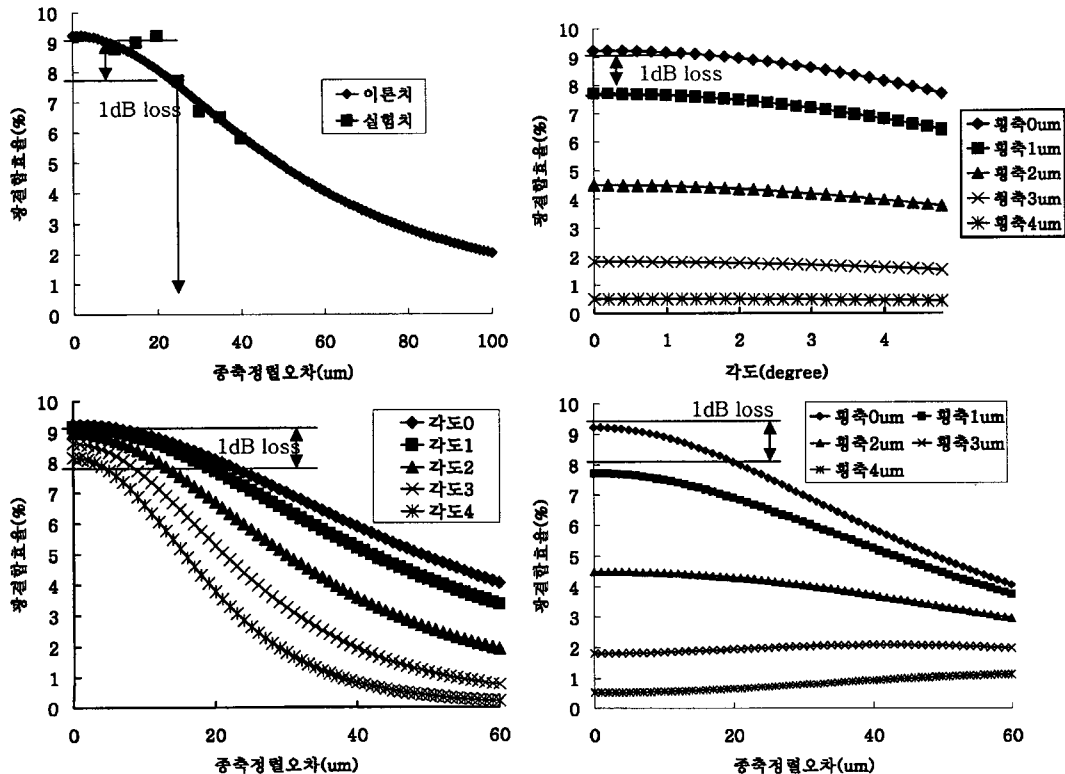


그림 4. 광결합 효율 계산.

표 2는 직경이 125 μm 인 광섬유의 정렬오차 변수의 값을 나타낸 것이다. θ 값이 55 degree 일 때 1 dBm 이내 손실일 때 실험치 h에 따른 Si 광학벤치의 변수 값이다. 그림 2의 Si 기판의 받침대(stand-off) 높이는 5 μm + 0.5 μm 으로 AU 받침대(stand-off)의 정렬오차(Δh)는 0.4 μm 이내임을 알 수 있다.

IV. 송신모듈의 제작 및 측정결과

부품으로는 1.3 μm InGaAsP/InP MQW PBH LD, 155 Mbps InGaAs PIN-PD, Si 기판, HIC 기판, sub 기판, submodule 고정판, 광섬유 pigtail, DIP, DIP 뚜껑, receptacle, 콘텐서, 저항, 인덕턴스, pre-amp, ASIC 칩, 나사, washer를 사용하였다. 본딩(bonding) 장비로는 다이본더(die bonder), 볼 본더(ball bonder), 웨지본더(wedge bonder)를 사용하였다. 그림 5는 광섬유 정렬 시스템으로 stepping motor & controller, visual 카메라, 현미경, 방진책상, 정렬지그, 뚜껑 고정용지그, 접지, 접지 고정대, cold 광원, 진공펌프로 구성되어 있다. 계측장비로는 3차원 스캐너, 미세거리 측정기, semiconductor parameter analyzer(HP4155A), optical multimeter, 광출력미터, 전원(current source), 광원(light source), 디지털 멀티미터, power supply, submodule 검사 지그, 검출기(detector)을 사용하였으며 전송특

성 시험을 위하여 pattern generator, BER(bit error rate) 미터, 디지털 오실로스코프, optical attenuator, power supply, 광출력미터, 디지털 멀티미터를 사용하였다. 퍼지시험을 위하여 LDTS(laser diode test system)을 사용하였다.

패키징 방법은 작은 광송신 모듈을 만들기 위하여 플립칩 본딩과 v-홈의 Si의 기판을 이용한 novel optical device 패키징 방법을 사용하였다. 그림 6은 수동광 정렬의 기술 구성도로 Si 기판은 LD와 광섬유 정렬을 위한 v-홈을 만들었고 모니터 PD와 LD의 커플링을 위한 u-홈을 만들었다. v-홈의 너비는 LD의 waveguide와 광섬유의 코어(core)에 맞게 설계되었다.^[3] LD의 횡방향 정렬은 molten 솔더 범프(solder bumps)의 표면장력에 의해서 종방향 정렬은 솔더 범프(solder bump)들의 받침대(stand-off)에 의해 조정되었다.^[7] 또한 고정 뚜껑은 v-홈에 광섬유를 고정하기 위하여 사용하였다. 그림 7은 패키징 과정을 나타낸 것이다. 부품검사 및 시험은 부품 조립전에 반드시 해야한다. m-PD의 전력은 -100 nA(-2.5 V) 이하인지 그리고 표면상태는 굽힘이나 이물질 유무 및 metal pad와 정렬마크(alignment mark)가 있는지를 검사하였다. Si 기판은 솔더(solder) 높이와 v-홈 상태에 따라 선별하며 정렬마크(alignment mark)와 코팅(coating) 처리도 확인하였다. 그림 8은 Si 기판의 코팅전후 및 큐링후의 광정렬후의 정렬광출력을 비교

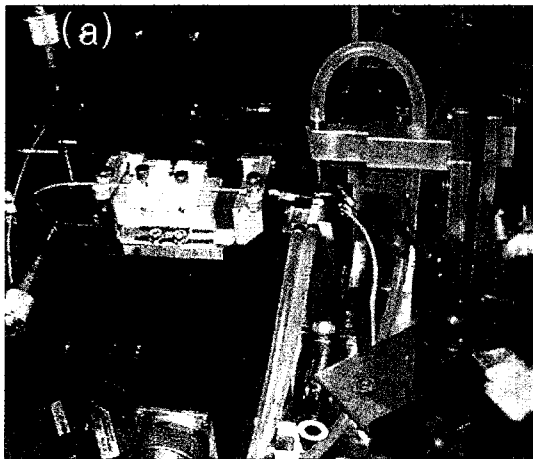


그림 5. 수동광 정렬 장치.

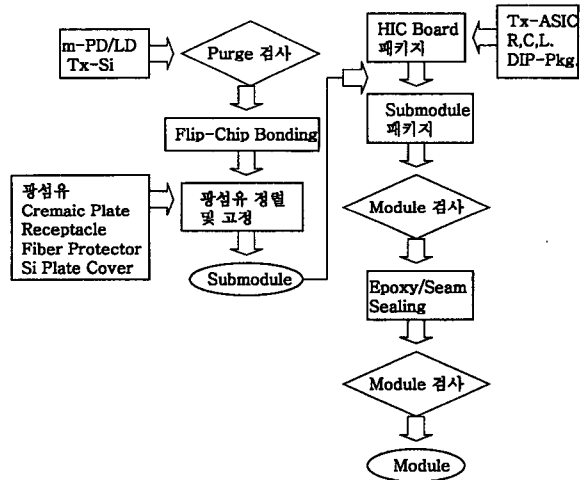


그림 7. 광송신 모듈의 패키징 과정.

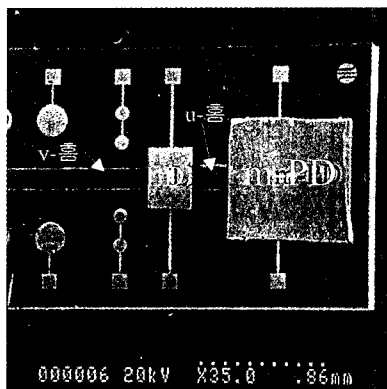
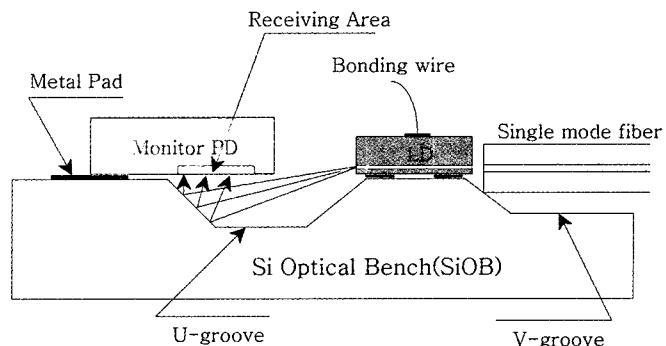


그림 6. 수동광 정렬 기술의 구성도.



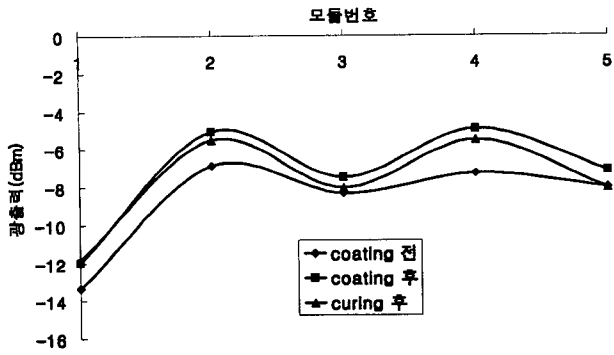


그림 8. Si 기판의 코팅전후 및 큐링후 광출력 분포.

한 것으로 코팅전보다 코팅후는 평균 1.45 dBm, 큐링후는 1 dBm이 개선되었다. 이는 LD에서 출력된 광은 m-PD로 입사될 때 이미 반사각이 결정되어 있어 크게 코팅에 영향을 받지 않을 것으로 생각할 수 있으나 코팅이 Si기판 표면에 굴곡을 만들어 전에 m-PD로 입사되지 않은 광에 반사각을 만들기 때문이다. 표 2에서 설명한 바와같이 v-홈은 142 μm + 1 μm로 pit가 없어야 하며 솔더범프(solder bump)의 높이는 평균 6 μm + 1.5 μm, -1 μm 정렬오차를 두었다. purge LD와 PD의 검사로 수명과 동작수행을 위하여 초기의 신뢰성을 검사하기 위한 것이다. 신뢰성은 시간보다 온도로 추정할 수 있다. purge 검사 전후로 dark 전류와 breakdown 전압 검사로 LD와 PD를 선별하였다. purge 검사의 판정은 Ith가 15 mA 이하이고 Pop 30 mA일 때 2.8 mW 이상으로 하였다. 플립 칩 본딩(flip-chip bonding)이란 진공장비로 LD와 PD를 집어서 v-홈, 솔더(solder), 그리고 받침대(stand-off)를 갖은 Si 기판위에 LD와 PD를 본딩(bonding) 하는 것으로 tack, reflow, 그리고 열압축 본딩 과정이다.⁴⁾ 그후 LD 패키징을 다이(die)와 와이어 본딩(wire bonding)을 하였다. 와이어 본딩시 칩이 떨어지지 않도록 해야 한다. 광섬유 정렬 과정은 Si 기판의 v-홈에 ITU-T⁸⁾에서 권고하는 1310 nm 광섬유의 코어

(core) 직경은 9~10 μm의 범위에서 편차가 10%이내이고 클래딩(cladding) 직경은 125 μm이고 편차가 ±2 μm이내를 만족하는 광섬유를 놓고 LD의 앞면에 커플링 하는 것이다. 예비정렬(pre-align)을 하지 않은 23개의 모듈중 60%인 14개만 ITU-T⁹⁾에서 권고하는 STM-1급(155 Mb/s)의 15 km 이내의 전송거리에 요구되는 광출력인 -8 dBm ~ -15 dBm을 만족하였다. 따라서 예비정렬로 선별한다면 불필요한 패키징을 할 필요가 없을 것이다. 예비정렬의 기준값은 -8 dBm 이상이 되고 광섬유 고정용 뚜껑은 깨지지 않은 것을 선별하였다. 따라서 그림 6에서와 같이 LD의 출력 level을 제어하기 위한 active면이 아래쪽에 있는 m-PD는 Si 기판의 u-홈에 반사되는 LD의 빛을 받는다. pass 및 fail의 판정은 전류와 전압의 곡선으로 하였다. 광출력은 -8 dBm 이상이고 m-PD의 출력을 확인하고 module S.E를 측정하였다. HIC 보드(board) 패키지 과정은 자동 출력 제어 기능을 포함한 LD driver ASIC과 같은 수동광 부품을 솔더 본딩(solder bonding)하는 과정이다. submodule 패키징 과정은 광섬유 보호와 측정을 위해 설계된 receptacle을 커플링한 모듈에 고정하는 작업으로 20핀의 DIP에 맞추어 HIC를 와이어 본드(wire bond) 하는 것이다. GND 저항은 1 ohm 이하 되도록 하였다. 모듈검사(module test)에서 dc power supply 전압 및 전류, optical rise/fall 시간, 평균 광출력, extinction ratio, disable 전압, enable 전압, LD bias 모니터 전압, m-PD 모니터 전압, 그리고 eye diagrams을 검사하였다. 평균 광출력은 -5 dBm ~ -10 dBm으로 소광비는 10 dB 이상을 선별하였다. seam sealing은 검사된 광모듈을 20핀의 DIP의 덮개를 seal 하는 과정으로 sealing epoxy 도 표시 Si 기판 및 seam sealing 자리에 epoxy가 묻지 않도록 해야한다. 최종 조립후 특성측정 단계에서 송신모듈의 LD에 가해지는 LD modulation 전류와 LD bias 전류를 가변저항을 이용하여 적절히 조절하는 것이 필요하다. 이는 LD modulation 전류의 경우 많은 양의 전류를 LD에 공급하면 결국 LD의 수명에 심각한 영향을 주며 m-PD photo 전류는 필요 이하로

광출력 [dBm]	수량
-4.1 ~ -4.5	1
-4.6 ~ -5.0	3
-5.1 ~ -6.0	10
-5.6 ~ -6.0	17
-6.1 ~ -6.5	21
-6.6 ~ -7.0	26
-7.1 ~ -7.5	23
-7.6 ~ -8.0	24
-8.1 ~ -8.5	15
-8.6 ~ -9.0	5
-9.1 ~ -9.5	2
-9.6 ~ -10.0	1
최고 광출력 [dBm]	-4.5
최저 광출력 [dBm]	-9.6
평균 광출력 [dBm]	-7.0

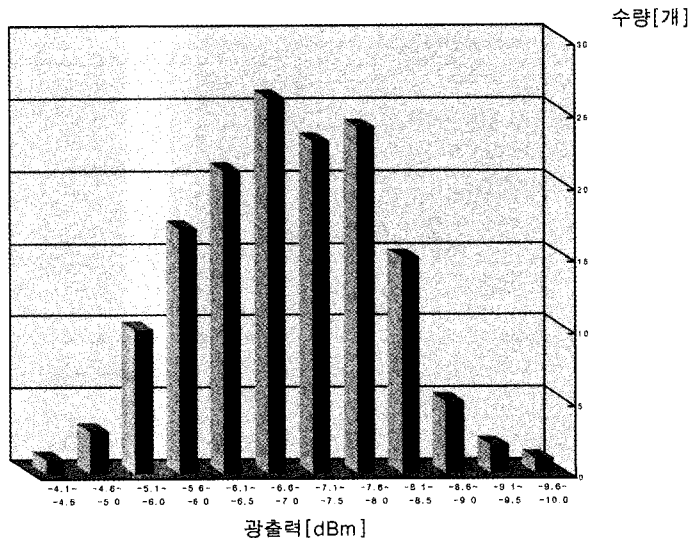


그림 9. 155 Mbps 광송신 모듈의 광출력 분포.

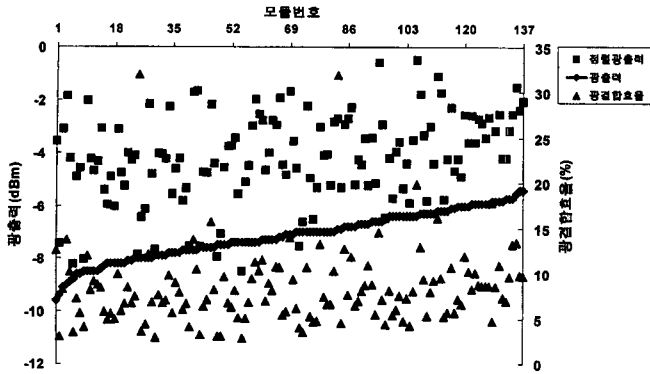


그림 10. 155 Mbps 광송신 모듈의 광결합 효율, 정렬광출력, 그리고 광출력 분포.

표 3. 광송신모듈의 패키징 효율

과 정	패키징 효율
m-PD와 Si 기판 검사	-
LD Pre 검사	-
Purge 검사	-
플립칩 bonding	0.52
Die bonding 및 wedge bonding Pre 검사	0.98
광섬유 정렬	0.69
HIC 패키징	-
모듈 패키징	-
모듈 검사	0.90
Seam Sealing	-
모듈 검사	0.99

적을 경우 모듈 전체의 APC 기능에 문제를 주기 때문이다.

그림 9는 148개의 광송신 모듈의 광출력 분포를 나타낸 것이다. 가장 낮은 광출력은 -9.6 dBm, 가장 높은 광출력 -4.5 dBm이고 평균 광출력은 -7.0 dBm이다. 그림 10은 광결합 효율, 광정렬후 광출력 및 seam sealing 후 광출력을 나타낸 것이다. 광결합 효율이 높고 광정렬후 광출력이 높은 모듈이

seam sealing 후 광출력이 높게 나타나는 것을 알수 있다. 표 3은 광송신의 패키징 효율을 나타낸 것이다. purge 검사와 광섬유 정렬 과정의 패키징 효율은 70% 이하로 패키징 효율을 낮추는 요인들을 알수 있다.

V. 신뢰성 검사

LD의 최대광출력 전류는 임계전류에 비례한다는 가정아래 LD의 lifetime은 80°C와 100°C에서 시간에 따른 최대광출력 전류의 변화율의 그래프로부터 최대 광출력 전류의 변화율 50%일 때 시간의 값을 산출하여 온도에 따른 lifetime 곡선으로부터 상온 40°C의 값을 산출하였다.^[10] 이때 lifetime은 80년 이상이었다. 표 4는 모듈의 신뢰성 검사 및 결과를 설명한 것이다.^[11] physical dimensions 은 부품의 외형적 크기를 측정하는 것으로 부품의 규정범위를 visual로 검사하였다. 외형 (external visual) 시험은 취급, 조립, 설치시 손상등을 최소한 1.5배의 확대경을 사용하여 검사하였다. 내형(internal visual) 시험은 모듈내부의 부품, 설계, 구조등을 검사하는 것이다. solderability 시험은 soldering된 부분을 visual로 검사하였다. lead integrity 시험은 leads, welds, seals 접합부분을 visual로 검사하며 solvent resistance 시험은 solvent 성분과 marking을 visual로 검사하였다. 기계적 강도시험중 충격시험은 충격에 대한 수용성을 평가하기 위한 것으로 충격시험기를 사용하여 0.5 ms 동안 최대 1,500 G까지 충격을 주었다. 진동시험은 특정한 진동범위 내에서 신뢰성 여부를 검사하는 시험으로 진동 시험기를 사용하여 0.06 inch의 최대진폭, 최대가속기는 20 G로 20 Hz에서 2,000 Hz까지 한주기가 4분보다 적게하며 X, Y, Z축에 각각에 4번 전체 12번을 48분안에 시험한 후 모듈 평가를 하였다. 인장시험은 광섬유를 당겼을 경우 지탱여부를 검사하는 시험으로서 1kg의 힘으로 3번 각각 5초간 당긴 후 모듈을 평가하였다. 내구성 시험으로 항온항습은 모듈이 항온항습에 영향을 받는지를 검사하는 시험으로 chamber안에

표 4. 신뢰성 시험 및 결과

시 험	목 적	조 건	판정	P/F	비고
Physical Dimension	부품의 외형크기				
External visual	조립 및 설치시 손상				
Internal visual	내부부품 설계구조				
Solderability	solderability	1.5 × 확대경	visual	전부	
Lead integrity	leads, welds, seal 접합				
Solvent resistance	solvent 및 marking				
충격	충격	1500 G, 5 hits, 6 dir	E/O	2/1	
진동	진동	20 g, 20~2000 Hz, 4 min/cycle, 4 cycle/axis	E/O	4/3	
항온항습	항온항습	85°C 85% 습도, 2000 hrs	E/O	4/3	
온도순환	온도순환	-40°C to 85°C, 500 cycle	E/O	4/2	
고온	고온	85°C >2000 hrs	E/O	6/5	LD 파손
저온	저온	-40°C >2000 hrs	E/O		
인장	인장	>1 kg, 3 times	E/O	2/2	
ESD Threshold	정전기	>500 V(HBM)	E/O		
Accelerated aging		80°C, APC(5 mA), >5000 hrs	E/O		

ESD-Electro-Static Discharge, APC-Automatic Power Control

표 5. 모듈특성

	우리것	국내 S	국내 L	국내 H	L사	H사
광결합방식	but ball	lens	ball lens	ball lens	ball lens	ball lens
평균 광출력	-7	-8(최대)	-8	-8	-8(최대)	-8
Spectral Width(RMS)	3	-	4	-	3	4
부품 가격차이	0	21,939 원	37,069 원	-	88,965 원	-

85°C, 85% 상대습도에서 bias하에 2000시간 이상 시험하였다. 온도순환은 온도변화에 따른 지탱여부로 온도순환 chamber안에 -45°C에서 85°C까지 500회전 후 모듈평가를 하였다. 전체 10% 이상 실험오류가 발생되었을 경우 다시 시작하였다. 고온시험은 forward bias로 5,000시간 이상 시험한 후 96시간 이내에 모듈 측정을 하였으며 이를 초과하였을 경우는 24시간을 더 시험한 후 측정 하였다. 측정은 170시간 마다 하였다. 저온시험은 -40°C에서 2,000시간 이상 시험하였다. LD의 ESD(Electro-Static Discharge) threshold 시험은 500 V 이상 전압을 모듈에 걸어주는 시험으로 LD의 ESD 문턱전압이 0.5 kV에서 3 kV로 작게는 100 V에서 500 V의 ESD 충격에 잠재적으로 영향을 받기 때문에 실시한다. accelerated aging 시험은 고온에서 APC기능을 검사하는 시험으로 80°C에서 APC를 5 mW로 5,000시간 시험하는 것이다. 22개 모듈로 12개의 시험을 하였다. 6개의 visual 시험은 전부 통과를 하였으며 나머지 6개의 시험으로 고온, 온도순환, 항온항습, 인장, 진동, 충격시험을 하였다. 항온항습은 Versa Tenn 2 Chamber를 사용하였고 진동시험은 SG-1708을 사용하여 시험하였다. 충격 및 온도순환 시험에서 50%의 판정을 얻었다.

VI. 결 론

flat한 광섬유를 이용한 butt 커플링 패키징 방법으로 평균 광출력이 -7.0 dBm, 가장 낮은 광출력은 -9.6 dBm, 가장 높은 광출력 -4.5 dBm 인 148개의 광송신 모듈을 만들었다. 전체 패키징 효율은 0.31이었고 패키징 효율을 높이기 위해서는 LD의 퍼지 및 광섬유 정렬과정의 효율을 높이는 것이 우선되었다. 최대 광결합 효율은 9.23%이며 최적조건(z=0, d=0, $\theta=0$)에서 1 dB 손실 광섬유 정렬의 허용오차는 각각의 최적 조건에서 종축(axial) 방향으로 26 μm , 횡축방향으로 1 μm , tilt 각도는 1도 내에 들어야 한다. 또한 3 dBm 정렬 허용일

때 최적의 상태에서 횡방향 정렬 오차는 평균 $\pm 2.4 \mu\text{m}$ 이었다. 정렬오차는 패키징시 정렬오차도 있으나 LD와 광섬유의 spot size가 각각 다르고, LD의 불균일성, 즉 far field angle이 모두 다르고, 실리콘 기판, 광소자내에서 도파로와 정렬 마크간의 오차로 인해 발생했다. 신뢰성 검사에서 충격 및 온도순환 시험은 통과율이 50%로 이를 위해서 조립시 본딩(bonding)의 강도와 온도에 변화에 대한 신뢰성이 우선되어야 한다. 표 5는 ball lens 사용한 방법과 광출력 특성 및 부품가격을 비교한 것이다. butt 커플링의 방법으로 국내 S사 보다 2만원 그리고 국의 L사 보다 8만원의 저렴한 가격 광송신 모듈을 만들었다.

참고문헌

- [1] H. Kuwahara, M. Sakaki, and N. Tokoyo, Appl. Opt. **19**, 2578 (1980).
- [2] K. Kawano, Appl. Opt. **25**, 2600, Aug. (1986).
- [3] 이상환, 주관종, 황남, 문종태, 송민규, 편광의, 이용현, 한국광학회지, **8**, 510 (1997).
- [4] Q. Tan and Y. C. Lee, Proceedings of the 46th ECTC, **26**, (1996).
- [5] J. I. Sakai and T. Kimura, IEEE J. Quant. Electron. **QE-16**, 1059 (1980).
- [6] J. Yamada, Y. Murakami, J. Sakai, and T. Kimura, IEEE J. Quant. Electron. **QE-16**, 1067 (1980)
- [7] S. H. Lee, G. C. Joo, K. S. Park, H. M. Kim, D. G. Kim, and H. M. Park, Proceedings of the 45th ECTC, 841 (1995).
- [8] ITU-T G.652 (1991).
- [9] ITU-T G.957 (1991).
- [10] N. Hwang, G. C. Joo, S. H. Lee, S. S. Park, H. S. Cho, M. K. Song, and K. E. Pynn, Proceedings of the 46th ECTC, 1308 (1997).
- [11] Bellcore TR-NWT-000468 (1991).

Optical coupling coefficients and packaging of optical transmitter module for optical subscriber

Sang-Kon Kim

Department of Physics, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

Min Kyu Song

Compound Semiconductor Dept., Microelectronics Technology Lab., ETRI, Taejon 305-350, Korea

(Received January 25, 2000, Revised manuscript received May 16, 2000)

Optical coupling coefficients and misalignment tolerance of 155 Mbps optical transmitter module of passive alignment technology, to be usable in ATM system, B-NT (Broadband Network Termination) system, and 10 G transmission system for information super-highway networks, were calculated, compared with its engineer samples, and discussed. These engineer samples of -4.5 dBm maximum output power were packaged in the method of butt coupling of flat-fiber and tested reliability evaluation. Hence the cheap packaging method of optical transmitter module was researched.

OCIS codes : 060.0060, 230.0230.