

반도체 광스위치 모듈의 제작 및 특성연구

강승구 · 송민규 · 박성수 · 이상환 · 황 남 · 이희태 · 오광룡 · 주관종

한국전자통신연구원 회로소자연구소

(1998년 9월 21일 받음, 1998년 12월 3일 수정본 받음)

1×2, 1×4 및 4×4 LD-gate형 반도체 광스위치 모듈을 제작하였다. 스위치 소자와 광섬유와의 광결합을 위해서 테이퍼드 광섬유를 어레이로 제작하여 사용하였으며 30핀 버티플라이형 패키지로 완성하였다. 광 부품 정렬 및 고정에서는 레이저 용접법 및 레이저 햄머링 공정을 이용하여 최초의 광정렬 값에서 평균 82%까지 복원하였다. 완성된 모듈에 대한 평가를 위해 전송 실험을 수행하였는데 1×2 스위치 모듈이 삽입되었을 때 2^{23} -1의 단어길이를 갖는 2.5 Gbps 광신호에 대해서 전송 페널티가 약 0.5 dB~2 dB로 나타났으며, 광섬유의 분산특성에 의하여 발생하는 전송 페널티에 대해서는 50 km 및 90 km 광섬유에 대해서 각각 0.6 dB 및 0.7 dB의 작은 페널티가 발생하였다. 1×4 및 4×4 스위치 모듈을 이용한 전송특성 평가에서도 모두 -30 dB 이하의 수신감도를 갖는 우수한 결과를 보였다.

I. 서 론

광통신 시스템의 전송 용량이 증가함에 따라 다채널 광섬유 어레이 패키지 제작 기술의 중요성은 여러 분야에 걸쳐 날로 증가하고 있다.^[1-3] 이중 광스위치는 앞으로의 광통신 시스템을 구성하는 핵심 부품으로 현재는 리튬나이오베이트(LiNbO₃) 및 실리카를 근간으로 하는 광스위치가 주종을 이루고 있으나 반도체 광스위치가 이를 대체하고 있는 추세이다. 특히 InP를 기저로 하는 통신용 반도체 광스위치의 경우 1) 증폭기 부분에서 자기방출잡음으로 불리는 광학 잡음을 유발하고, 2) 매질의 반송자 수명시간이 10^{-9} sec에 해당하는 dynamic process를 가지므로 선행하는 bit가 후속 되는 bit의 이득에 영향을 줄 수 있다는 단점을 갖고 있으나, 1) 낮은 삽입손실(심지어 이득을 가짐), 2) 낮은 편광모드 분산(low polarization mode dispersion) 등의 장점을 지니고 있으며 다른 능동 혹은 수동소자와의 집적이 유리하고, 그 크기가 비반도체 소자보다 매우 작기 때문에 그 중요성은 날로 증가하고 있다. 모듈 패키징 기술 관점에서 볼 때 주 관심사는 소자와 광섬유간에 광결합 효율을 증가시키고, 전기적 기생성분을 최소화하며, 기계적인 안정성 및 효과적인 방열을 도모하고 완전한 모듈 조립을 위한 공정 개발 등이다. 그러나 InP 도파로의 경우 광섬유와는 매우 다른 크기의 광모드 필드를 가지므로 이들 간의 광정렬에서 높은 광결합효율을 얻기가 쉽지 않다. 그러므로 모드 크기 변환기(Spot Size Converter)를 도파로의 끝부분에 집적하여 도파로의 광모드 크기를 증가시키고 광섬유 끝에 테이퍼를 주어 가공한 테이퍼드 렌즈 광섬유를 사용하여 광결합 효율을 증가시키고 있다. 이때 테이퍼드 광섬유의 렌즈 반경이 작아지면 광결합 효율이 증가하는 반면, 광정렬 허용오차가 줄어들어 광정렬이 어려워지므로 높은 광결합 효율을 갖는 스위치 모듈을 제작하려면 정밀한 정렬기술과

신뢰성 있는 모듈 조립 공정이 요구된다.

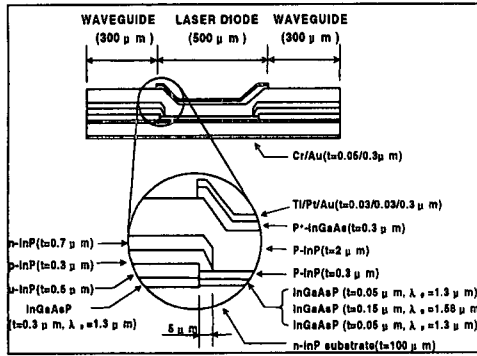
LD 혹은 PD 등 광소자 모듈 조립 공정중 레이저 용접법은 기타의 솔더링 방법 혹은 에폭시 접착 방법 등에 비해 신뢰성 있고 정밀도가 높으므로 널리 이용되고 있다.^[4] 그러나 레이저 용접시 발생하는 변위 보정방법인 레이저 햄머링 공정^[5-6]의 유용성에도 불구하고 레이저 용접법을 광스위치, 어레이 도파로 격자(AWG, array wave-guide grating) 소자, 파장 변환기, 다파장 광원 등 다채널 소자에 대한 모듈 제작에 적용하는데 어려움이 있었다.^[7-8]

본 연구에서는 이러한 다채널 광소자의 하나인 광스위치 제작을 가능케 하는 새로운 레이저 햄머링 방법을 도입하여 각각 1×2, 1×4, 4×4 등 세 종류의 반도체 광스위치 모듈을 제작하였다. 스위치 소자와 광섬유와의 높은 광결합을 위해서 테이퍼드 광섬유를 어레이로 제작하여 사용하였으며 30핀 버티플라이형 패키지로 모듈을 완성하였다. 완성된 스위치 모듈의 특성 평가를 위하여 전송실험을 수행하였으며 제작 공정 결과를 기술하였다.

II. 모듈 설계 및 제작

2.1. 스위치 칩

본 연구에 사용한 1×2, 1×4, 4×4 스위치 칩은 InGaAsP (1550 nm) LD-gate 형으로 그림 1 (가)에 LD-gate 혹은 증폭기와 도파로의 연결 부위 구조를, 그리고 (나)에는 제작한 4×4 스위치 칩의 사진을 보였다.^[9] 칩은 4차례의 MOCVD (metal organic chemical vapor deposition) 성장과, 세차례의 RIE (reactive ion etching) 공정을 거쳐 제작하였고, 칩 계면에서의 반사를 줄이기 위하여 SiNx 층으로 무반사막을 코팅하여 반사율을 0.1 % 정도로 낮추었다. 4×4 스위치 칩의 크기는 $6.8 \times 1.8 \times 0.1(T) \text{ mm}^3$ 으로 LiNbO₃ 스위치 칩에 비해 매우



(가)



Pre-amplifier Gate-amplifier Post-amplifier
(나)

그림 1. InGaAsP LD-gate와 도파로 연결부의 구조 및 4×4 스위치 칩 사진.

작음을 알 수 있다.

2.2. 전기적 설계

현재의 광스위치 소자의 경우 요구되는 스위칭 시간이 10-9 sec 정도면 충분하므로 기판이나 패키지의 핀 등에 임피던스 정합개념이 요구되지 않는다. 50의 임피던스 정합 개념을 도입할 경우 4×4 칩의 경우 광증폭기가 24개 있으므로 이들을 기판과 연결하기 위한 기판 설계를 어렵게 할 뿐 아니라 버터플라이 패키지의 글래스 실링 되는 핀의 구멍이 2 mm나 되어야 하므로 100 mil 피치의 30핀 버터플라이 패키지 제작이 불가능해진다. 따라서 임피던스 정합 개념이 배제된 전기적 설계는 기타의 패키지 부품설계에도 많은 도움이 되었다.

2.3. 열 설계

4×4 스위치 칩은 24개의 증폭기를 보유하고 있으며 이들 증폭기가 각각 50 mA(1V)~80 mA(1.2V)로 구동된다. 이 스위치 칩의 모든 경로가 작동하는 경우 4개의 전치 증폭기, 4개의 게이트 증폭기 그리고 4개의 후치 증폭기가 동시에 구동되므로 0.6~1.2 W를 소모하게 되어 많은 열을 발생시키게 된다. 따라서 효과적인 열 방출을 위해서는 적절한 열 설계가 요구된다. 그림 2에는 설계한 스위치 모듈의 단면도를 보였다. 양호한 레이저 용접용 재료로 알려진 스테인레스 스틸(SUS304L)이나 Kovar는 열전도성이 불량하므로 우선 스위치 칩과 TEC(thermo-electric cooler)간의 열 전도성을 높이기 위해 부모들의 base를 Cu-W로 제작하고 열전달과 무관한 나머지 모든 용접용 부품(fiber housing, fiber housing holder, base plate)은 Kovar로 제작하였다. 부모들의 base를 Kovar로 선택한 이유는 용접부품간의 CTE(coefficients of thermal expansion) 차이를 최소화 하기 위함으로 모듈의 신뢰성을 증가시키는데 결정적인 역할을 한다. 적절한 열설계 및 TEC 선

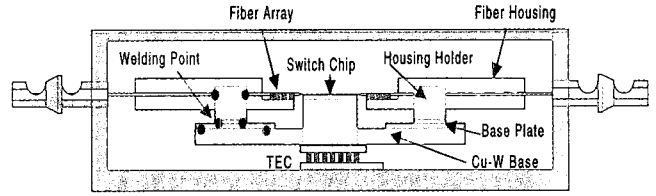


그림 2. 스위치 모듈의 단면도.

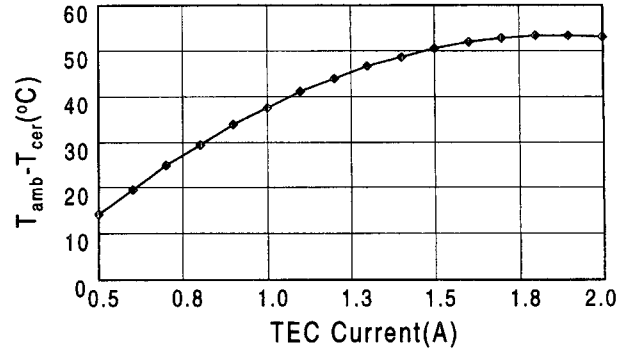


그림 3. 열전달 효율 모사 결과 (@1W).

정을 위하여 열전달 효율을 Pspice를 이용하여 분석하였으며^[10] 결과를 그림 3에 보였다. 칩에서의 발열량이 1.0W 일 때 FC0.65-32-04-2형 TEC를 사용할 경우 결과에 보인 바와 같이 Cu-W base위의 세라믹 표면과 패키지의 바닥간의 온도차이 ($T_{amb} - T_{cer}$)를 30°C 이상으로 유지하는데 1A 이하의 적절한 TEC 전류가 요구되므로 온도 안정화를 위해 충분한 것으로 판단된다.

2.4. 광학적 설계

보다 높은 광결합 효율을 얻기 위해 렌즈 반경이 10~15 μm로 제작된 테이퍼드 광섬유를 사용하였다. 그러나 그림 4의 광정렬 실험에 보인 바와 같이 3 dB 손실을 보이는 광정렬 허용오차가 횡방향(x, y)으로는 0.9~1.1 μm, 축방향(z)으로는 7 μm 밖에 되지 않으므로 매우 정밀한 광정렬이 요구되며 광섬유 어레이를 제작할 때 테이퍼드 광섬유 어레이의 렌즈

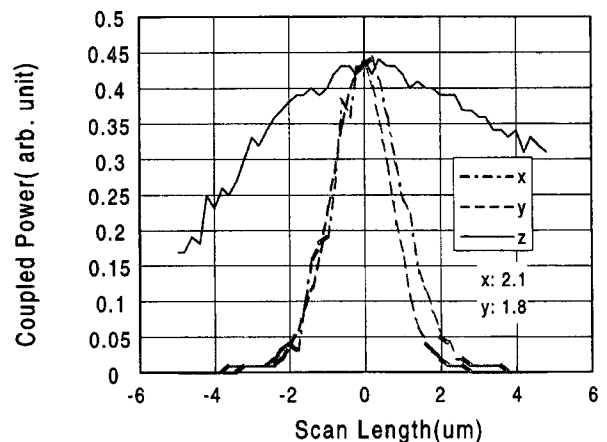


그림 4. 광정렬 실험.

간 간격이 스위치 칩의 채널 간격인 250 μm 에 최소한 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 이내로 정확히 일치해야 함을 알 수 있다.

다채널 광소자 패키징을 위해서는 6개의 자유도 (x-, y-, z-축 방향, x-, y-, z-을 중심으로한 회전방향)를 갖는 광정렬이 요구되므로 본 연구에서는 U-channel technique을 사용하였다.^[11] 스위치 칩의 단면에는 0.1%의 무반사 박막 코팅이 되어 있으므로 광결합하는 광섬유 끝면으로 부터 반사되어 다시 칩으로 궤환되는 광에 의해 칩 특성이 저하되지 않아야 한다. 이러한 궤환광 특성을 조사하기 위하여 ABCD matrix 법^[12]을 사용하였으며 결과를 그림 5에 보였다.

그림 5를 보면 테이퍼드 광섬유 끝면에서 반사되어 다시 칩으로 궤환되는 결합량은 테이퍼드 광섬유의 렌즈 반경이 작아질 수록 줄어들음을 알 수 있는데 렌즈반경(R)이 10~15 μm 일 경우 광섬유와 스위치 칩간의 최적 정렬간격이 약 15~25 μm 이므로 칩으로 궤환되는 결합량은 -50 dB 이하이고 이것은 스위치 칩의 특성을 저하시키지 않을 정도의 매우 작은 궤환양이다.

테이퍼드 광섬유는 광섬유 끝면 연삭 및 연마를 통하여 실험실에서 제작하였다. 제작한 테이퍼드 광섬유 중 렌즈중심 변위(렌즈 중심과 광섬유 중심간의 차이)가 0.5 μm 이하인 것을 선별하여 V-홈 Si 기판 위에 올려놓고 끝면을 정렬한 후 UV-curable 에폭시를 첨가하고 커버글래스로 덮은 후 프로브 팁으로 누른 상태에서 에폭시를 경화시켜 광섬유 어레이를 제작하였다.

2.5. 모듈 조립

레이저 용접법을 이용하여 광부품을 고정할 때에는 용접후의 변위(post weld shift)가 필연적으로 발생한다. 이러한 변위 보정을 위해 개발된 공정이 레이저 햄머링 공정인데 이는 용접(레이저 햄머링)부위가 굳으면서 수축하는 현상을 이용한 것으로 현재까지는 단일채널 광소자에만 적용이 가능하였다.^[5-6] 그러나 본 연구에서는 그림 6에서와 같이 다채널 광소자에서 가장 중요한 회전방향(특히 Rz 방향)에 대한 변위를 보정할 수 있는 레이저 햄머링 공정을 시도하여 성공적으로 모듈을 제작하였고, 레이저 햄머링 결과 초기 광정렬 값의 평균 82%를 복원할 수 있는 우수한 공정으로 평가되었다(LH-y는 y 방향의 레이저 햄머링 위치임). 이때 Rz 회전방향의 햄머링은 그림 6의 (나)에서와 같이 얇은 판에 햄머링을 할 경우 그 부위에서 물질의 상변화에 의해 부피가 줄어들어 부분적으로 굽어지는 현상을 이용한 것으로 굽어지는 정도는 햄머링할 때의 레이저의 세기 및 햄머링 횟수를 변화시켜 조정하게 된다. 본 연구에서는 MIYACHI사의 ML-2030A 3분기용 Nd-YAG 레이저를 사용하였다. 그림 2에서의 Cu-W과 base plate 사이에는 이중접합이므로 7J, 나머지 용접 및 햄머링 부위에는 4J의 에너지를 사용하였다.

모든 조정이 끝난 스위치 부모듈은 칩에서 발생하는 열을 제거하기 위해서 TEC 및 온도 감시를 위한 3 K Ω 의 thermistor와 함께 30핀 버터플라이 패키지 내부에 부착되었다. 그림 7에는 완성된 4x4 광스위치 모듈 사진을 보였다.

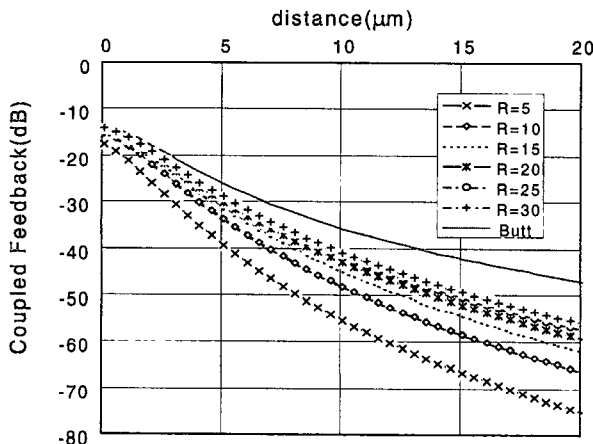
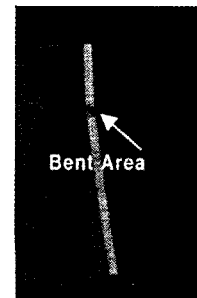
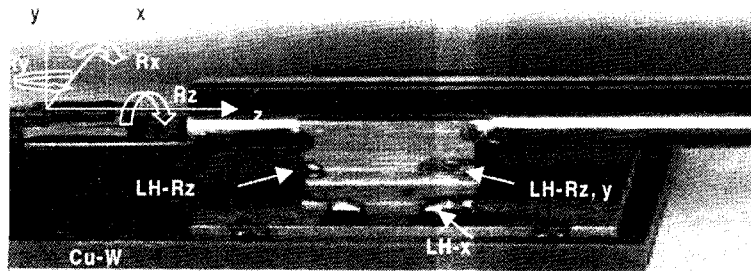


그림 5. 광섬유 끝면으로 부터 칩으로의 반사 궤환광 특성.



그림 7. 완성된 4x4 스위치 모듈 사진.



(가)

(나)

그림 6. (가) 레이저 햄머링이 끝난 부모듈, (나) 햄머링에 의해 굽어진 부위.

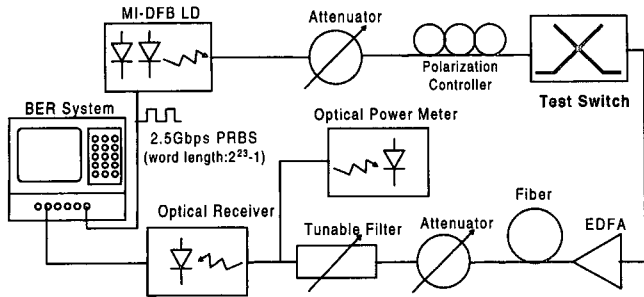


그림 8. 전송특성 측정장치 구성도.

2.6. 전송특성 측정

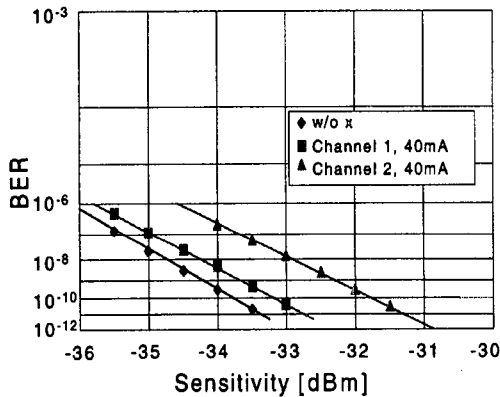
완성된 모듈의 특성평가를 위해서 그림 8과 같은 전송특성 측정장치를 구성하여 전송실험을 수행하였다. 측정 장치 구성을 위해 Alcatel사의 MI-DFB LD를 광원으로 사용하였으며 편광조절기를 삽입하였고, 광스위치 및 광수신기의 입력 광신호를 조절 및 수신감도 측정을 위한 광감쇄기 2개, 편광조절기, 신호 증폭을 위한 EDFA, tunable 필터, AT&T사의 2.5 Gbps용 광수신기, 그리고 BER meter 등을 사용하였다. 전송 광신호로는 223-1의 단어 길이를 갖는 2.5 Gbps NRZ

(Non Return to Zero) PRBS (Pseudo Random Binary Sequence)를 사용하였다.

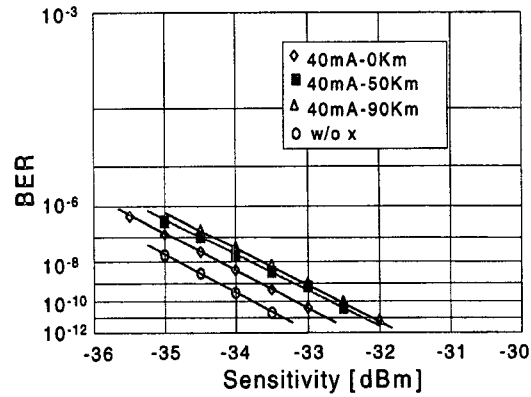
III. 결과 및 논의

3.1. 1×2 스위치 모듈의 전송특성

그림 9에는 1×2 스위치 모듈의 전송 특성을 보였는데 (가)에는 각각의 채널 gate에 40 mA를 흘린 상태에서 전송시스템의 중간에 스위치를 삽입한 후 추가의 전송 광섬유 없이 (back-to-back) 수신감도 (sensitivity)를 측정한 결과이고, (나)는 (가)의 상태에서 채널 1에 대하여 추가의 전송 광섬유를 50 Km 및 90 Km 삽입한 후 전송특성을 측정한 결과이다. 그림 9의 (가)에서 볼 수 있듯이 스위치 모듈을 삽입했을 때의 전송페널티(스위치가 없는 상태(w/o x)에서 BER 10⁻¹⁰에서의 수신감도와 스위치가 삽입된 상태(w/ x)에서의 수신감도 간의 차이)는 채널 1의 경우 약 0.5 dB이고 채널 2의 경우에는 약 2 dB임을 알 수 있다. 이러한 채널간의 특성차이는 물론 각 채널의 도파로 특성, 광결합 효율등의 요인도 있겠지만, 그림 10에 보인 바와 같이 주로 gate 증폭기의 이득의 차이에 기인한 것으로 gate 1의 이득이 gate 2의 이득에 비해 약 4 dB나

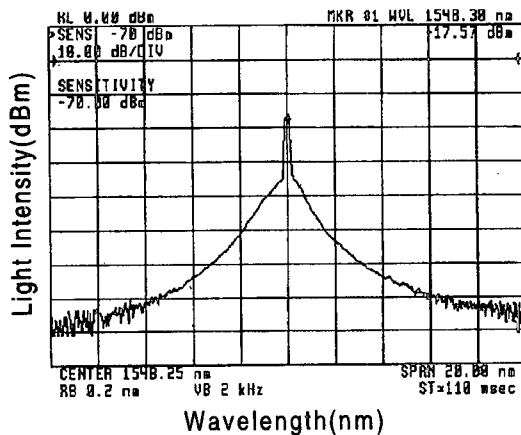


(가) Back-to-Back

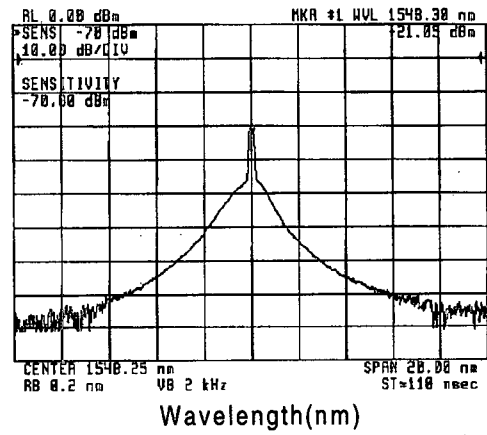


(나) Fiber Transmission

그림 9. 1×2 스위치모듈의 전송 특성.



(가) 2-1



(나) 2-2

그림 10. gate 증폭기의 이득스펙트럼.

를 알 수 있다. 그림 9의 (나)는 광섬유의 분산특성에 의하여 발생하는 전송 페널티를 나타내고 있는데 광스위치를 삽입하였을 때 50 Km 광섬유에 대해서는 약 0.6 dB, 90 Km 광섬유에 대해서는 약 0.7 dB의 페널티가 발생하는데 이는 매우 우수한 결과이다.

3.2. 1×4 스위치 모듈의 전송특성

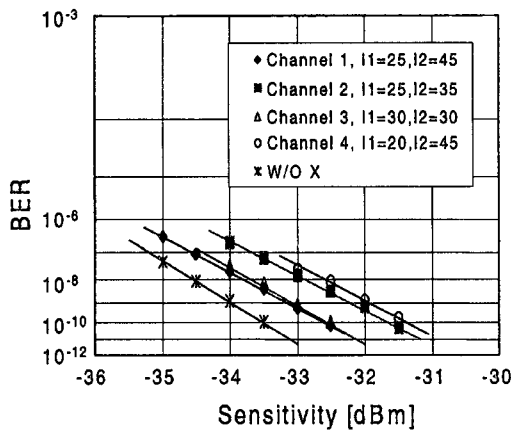
그림 11에는 1×4 스위치 모듈의 전송 특성을 보였는데 (가)에는 각각의 경로에 대하여 I1(전치 증폭기)와 I2(gate)에 각기 다른 전류를 흘린 상태에서 back-to-back 특성을 측정하고, (나)는 (가)의 상태에서 채널 1에 대하여 추가의 전송 광섬유를 40 Km 및 90 Km 씩 삽입한 후 전송특성을 측정하고 있다. 그림 11의 (가)에서 볼 수 있듯이 스위치 모듈을 삽입했을 때의 전송 페널티는 채널 1, 2, 3, 4에 대하여 각각 1 dB, 2 dB, 1 dB, 2 dB로 나타났으며, 각 채널간의 페널티 차이는 1 dB로 작음을 알 수 있다. 그림 11 (나)의 결과를 분석해 보면 광섬유의 분산특성에 의하여 발생하는 페널티가 광스위치를 삽입하였을 때 약 1.2 dB인 40 Km 광섬유에 비해 오히려 0.8 dB인 90 Km 광섬유가 더 작음을 알 수 있다. 이는 광원과 광스위치 소자간에 적절한 음의 처핑이 유지되어

광섬유의 분산을 보상한 결과로 예측된다.

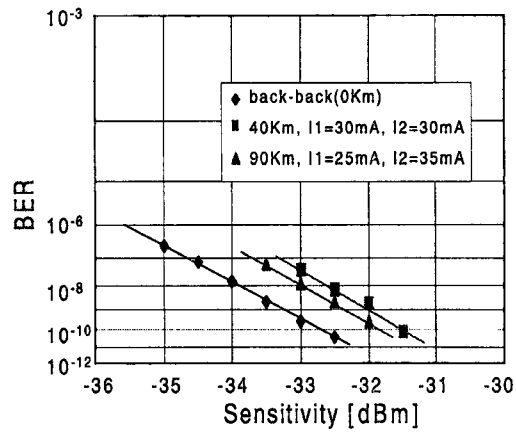
3.3. 4×4 스위치 모듈의 전송특성

그림 12에는 4×4 스위치모듈의 전송 특성을 보였는데 (가)에는 각각의 경로에 대하여 I1 (전치 증폭기)와 I2 (gate) 및 I3 (후치 증폭기)에 각기 적절한 전류를 흘린 상태에서 back-to-back 특성을 측정하고, (나)는 (가)의 상태에서 경로 4(전치증폭기)-16(gate)-4(후치증폭기)에 대하여 추가의 전송 광섬유를 40 Km 및 90 Km 씩 삽입한 후 전송특성을 측정하고 있다.

그림 12 (가)에서 볼 수 있듯이 스위치 모듈을 삽입했을 때의 전송 페널티는 각각의 경로 4-16-4, 3-15-4, 4-12-2등에 대하여 각각 1.1 dB, 1.3 dB, 1.7 dB로 측정되었다. 불행히도 스위치 모듈 완성 후 gate 1, gate 7과 후치증폭기 1이 외부의 정전기에 의하여 손상되었다. 따라서 나머지 가능한 모든 경로에 대하여 전송특성을 측정하였으며, 그 결과를 표 1에 나타내었는데 모두 -30 dBm 이하의 낮은 수신감도를 보이고 있다. 그림 12 (나)의 결과를 분석해 보면 1×4 스위치 모듈과 유사하게 광섬유의 분산특성에 의하여 발생하는 페널티가 광스위치를 삽입하였을 때 40 Km 광섬유에 대해서는 약 1.1

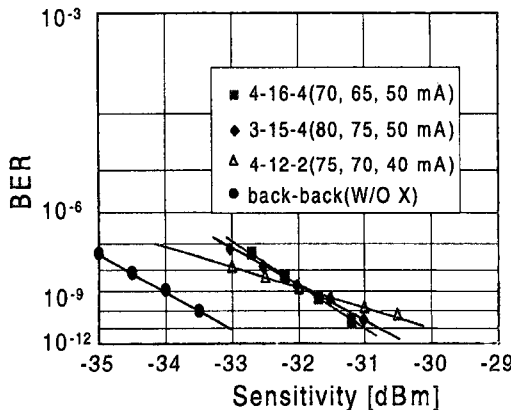


(가) Back-to-Back

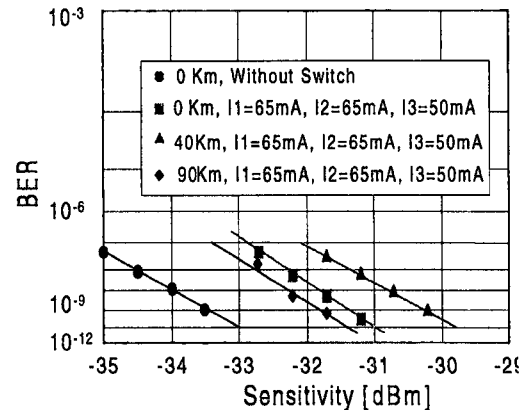


(나) Fiber Transmission

그림 11. 1×4 스위치모듈의 전송 특성.



(가) Back-to-Back



(나) Fiber Transmission

그림 12. 4×4 스위치모듈의 전송 특성.

표 1. 4×4 스위치 모듈의 전송 특성

Input power : -5dBm				I1	I2	I3	Sensitivity
Input Gate	Output	# of X points		(mA)	(mA)	(mA)	(dBm)
1	1	1	0				N/A
	3	2	2	65	70	40	-31
	5	3	3	60	45	70	-32.5
	7	4	5				N/A
2	2	1	2				N/A
	4	2	2	75	70	80	-32.5
	6	3	3	70	55	50	-32
	8	4	3	75	75	75	-31.2
3	9	1	3				N/A
	11	2	3	70	75	40	-33
	13	3	2	70	65	50	-30.5
	15	4	2	80	75	50	-31.3
4	10	1	5				N/A
	12	2	3	75	70	40	-30.8
	14	3	2	75	65	50	-31.5
	16	4	0	70	65	50	-31.4
Without Switch Module							-33.5

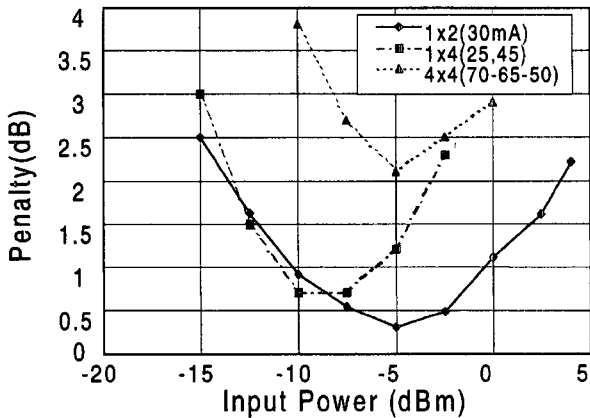


그림 13. 1×2, 1×4, 4×4 스위치 모듈의 전송 페널티.

dB인 반면 90 Km 광섬유에서는 오히려 0.3 dB가 향상됨을 알 수 있다. 즉 1×4 스위치 모듈보다 90 Km 광섬유에 대해서 더욱더 향상된 것이므로 1×2 모듈과 비교하여 종합해 보면 신호가 거치는 증폭기의 수가 증가할수록 광원과 광스위치 소자간에 보다 더 적절한 음의 처평이 유지되어 광섬유의 분산을 잘 보상해 주는 것으로 판단된다.

그림 13에는 1×2 (30 mA), 1×4 (I1 = 25 mA, I2 = 45 mA) 및 4×4 (I1 = 70 mA, I2 = 65 mA, I3 = 50 mA) 스위치의 특정 채널에 대하여 BER이 10⁻¹⁰을 기준으로 하여 입력신호세기에 따른 2.5 Gbps 전송 페널티(스위치 모듈이 삽입되었을 때와 없을 때의 수신감도 차이)를 측정된 결과를 보였다. 그림 13의 결과를 분석해 보면 낮은 입력신호에서는 자기방출에

의해 전송 페널티가 발생하고, 높은 입력신호 에서는 스위치 내부 증폭기의 포화이득에 의해서 소광비가 감소하여 전송 페널티가 발생하게 되므로 양호한 전송을 위해서는 최적의 조건이 존재함을 알 수 있다. 그러나 시스템에서 사용시 dynamic range (일정 페널티 이하를 유지하기 위한 입력 광신호 세기의 범위)가 중요한 요소가 되는데 1×2의 경우 1 dB 이하의 페널티를 갖기 위한 dynamic range는 약 10 dB이고 2 dB이하의 페널티를 갖기 위한 조건에서는 약 17 dB가 확보된 반면 1x4의 경우 2 dB 페널티를 갖기 위한 조건에서 약 10 dB로 dynamic range가 줄어들었고 4×4의 경우에는 더욱 악화되어 3 dB 페널티를 갖기 위한 dynamic range가 8 dB 정도로 나타났다.

지금까지 본 연구에서 보여준 1×2, 1×4, 4×4 등 세 종류의 반도체 광스위치 모듈에 대한 성공적인 제작 및 동작특성은 레이저 용접법을 다채널 광소자의 모듈제작에 이용할 수 있음을 보여주는 것이며 앞으로 확장될 8×8 및 16×16 스위치 뿐 아니라 1×8 AWG 소자 등 통신시스템에 사용되는 다채널 광소자 모듈 제작 가능성을 한층 높여주는 결과라 할 수 있겠다.

참고문헌

- [1] M. Gustavsson, M. Janson and L. Lundgren, *Electron. Lett.*, **29**(12), 1083 (1993).
- [2] H. Yasaki, Y. Yoshikuni, K. Sato, H. Ishii, H. Sanjoh, M. Wakamiya, Atsugi-shi, K. Pref, OFC96 Technical Digest, 299 (1996).
- [3] Y. Arai, H. Takahara, K. Kobayu, S. Fujita, Y. Akahori, J. Nishikido, *IEEE. Trans. Comp., Hybrids, Manufact. Technol.*, **18**(3), 558 (1995).
- [4] S. G. Kang, M. K. Song, S. S. Park, N. Hwang, H. T. Lee, K. E. Pyun, *LEOS '96*, 628 (1996).
- [5] S. Jang, *Proc. SPIE*, Vol. 2610, pp. 138-149, 1996.
- [6] M. K. Song, S. G. Kang, N. Hwang, H. T. Lee, S. S. Park, K. E. Pyun, *IEEE. Trans. Comp., Hybrids, Manufact. Technol.*, **19**(4), 758 (1996).
- [7] K. Kato, K. Okamoto, H. Okazaki, Y. Ohmori and I. Nishi, PD1, Fourth Optoelectronic Conference (OEC '92) Technical Digest, July 1992, Makuhari Messe.
- [8] G. Nakagawa, K. Miura and K. Tanaka, *IEEE Photonics Technology Letters*, **7**(4), 409 (1995).
- [9] K. R. Oh, J-H Ahn, J. S. Kim, S. W. Lee, H. M. Kim, K. E. Pyun, H. M. Park, *Electron. Lett.*, **32**(1), 39 (1996).
- [10] H. Tongeren and P. J. A. Thijs, *ECTC '92*, 848 (1992).
- [11] S. C. Wang, C. Wang, Y. K. Tu, C. J. Hwang, S. Chi, W. H. Wang, W. H. Cheng, *ECTC96, Proc.* 942 (1996).
- [12] A. Yariv, *Quantum Electronics*, 3rd Ed., chap. 6 (1989).

**Fabrication of semiconductor optical switch module
using laser welding technique**

Seung-Goo Kang, Min-Kyu Song, Seong-Su Park, Sang-Hwan Lee, Nam Hwang,

Hee-Tae Lee, Kwang-Ryong Oh and Gwan-Chong Joo

Micro-Electronics Technology Laboratory

Electronics and Telecommunications Research Institute, Taejon 305-350, Korea

(Received September 2, 1998, Revised manuscript received December 3, 1998)

Semiconductor optical switch modules of 1×2 , 1×4 , and 4×4 types for 1550 nm optical communication systems were fabricated by using laser welding technique, embodying in 30-pin butterfly package. For better coupling efficiency between switch chip and optical fiber, tapered fibers of 10~15mm lens radii were used, which provided up to 60% optical coupling efficiency. With the help of new laser hammering process, we could recover the lost optical power almost completely up to average 82% of initially obtained power. The fabricated optical switch modules showed good thermal stability of less than 5% degradation even after 200 times thermal cycling test. The 2.5 Gbps optical transmission characteristics of the 4×4 switch module showed low sensitivities of less than -30dB for all possible switching paths. The transmission penalties of 1×2 switch module at 10^{-10} BER were 0.6dB and 0.7dB for 50Km and 90 Km optical fibers, respectively.