Micro-block Stacking 방법으로 제작한 집적형 Triplexer 제작 및 특성 측정

윤현재^{1†} · 김진원²

¹광주대학교 광통신공학과
Ⓢ 503-703 광주광역시 남구 효덕로 52

²엠피콤
Ⓢ 500-706 광주광역시 북구 대촌동 958-3 광주TP 벤처지원센터 108호

(2012년 7월 19일 받음, 2012년 9월 3일 수정본 받음, 2012년 9월 3일 게재 확정)

본 논문에서는 정밀 세라믹 부품을 이용한 MBS(Micro-Block Stacking) 방법으로 1550 nm 파장의 아날로그 신호 수신과 1310 nm/1490nm 파장의 디지털 신호 송, 수신이 가능한 8 pin mini DIL 형태의 집적형 Triplexer를 제작하였다. 제작된 전체 어셈블리는 5.40 mm × 2.15 mm × 1.05 mm 크기로 통신용 광모듈 국제 표준인 MSA(Multi Source Agreement) 규격의 SFP(Small Form Pluggable) 광모듈 제작이 가능하다. 자동 능동 광정렬 장비를 사용하여 제작된 집적형 Triplexer를 단일모드 광섬유에 광정렬하였을 때, 1310 nm 송신부 최대 광출력이 -14.5 dBm이었고, 송신부에 의하여 위치가 자동 정렬된 1550 nm와 1490 nm 수신부 수신감도는 각각 0.83 A/W, 0.73 A/W로 단거리 통신에 적용 가능한 값을 얻었다.

Fabrication of the Integrated Triplexer Using Micro Block Stacking Method

Hyun-Jae Yoon^{1†} and Jin-Won Kim²

¹Department of Optical Communications Engineering, Gwangju University, 52 Hyodeok-ro, Nam-gu, Gwangju 503-703, Korea

²MPCOM, 108 Gwangju TP Venture Support Center, 958-3 Daechon-dong, Buk-gu, Gwangju 500-706, Korea

(Received July 19, 2012; Revised manuscript September 3, 2012; Accepted September 3, 2012)

In this paper, we have fabricated by means of the “Micro-Block Stacking (MBS)” method the 8 pin mini DIL integrated Triplexer, which can transmit CATV and voice/data at the same time in a single fiber. Our MBS technique is a novel scheme of compact optical module packaging which secures precision positioning of the components on the optical beam path by prefixed stacks of ceramic blocks. The subassembly in which a laser diode, two receiver photodiodes, two WDM filters, and four micro lenses are integrated is only 5.40 mm × 2.15 mm × 1.05 mm in size. As the Triplexer is aligned to the single mode fiber, the transmitter power of -14.5 dBm and the receiver sensitivities of 0.83 A/W, 0.73 A/W for 1550 nm, 1490 nm, respectively are obtained.

Keywords: Triplexer, Integrated module, Micro block, OSA, WDM

OCIS codes: (230.0230) Optical devices; (060.2330) Fiber optical communication; (120.3620) Lens system design

I. 서 론

대용량 장거리 전송의 장점을 갖는 광통신망이 구축되고 다양한 방송, 통신 융합 서비스를 제공할 수 있는 광가입자망(Fiber-To-The-Home: FTTH)이 현실화되고 있으며 미국에서는 디지털 통신망에 아날로그 방송을 함께 전송하는 다양한 형태의 서비스가 진행되고 있다. 지금까지의 광가입자망은 주로 데이터와 비디오 신호 등을 디지털 광신호로 변환하

여 전송하는 역할을 하고 있으며, 케이블 TV와 같은 아날로그 신호는 별도의 전송망과 전송 방식을 사용하여 왔다. 그러나 최근에 이러한 아날로그 방송 신호를 디지털 통신 신호와 함께 하나의 전송 매체를 통하여 전송하고자 하는 시도가 진행되고 있으며 이러한 시스템에 필요한 광송수신 모듈인 Triplexer에 대한 연구도 진행되고 있다. Triplexer는 광가입자망에서 가입자단에 위치하여 하나의 광섬유를 통하여 디지털 상향 신호(1310 nm 파장)와 디지털 하향 신호(1490 nm

[†]E-mail: hjyoon@gwangju.ac.kr

파장), 그리고 아날로그 하향 신호(1550 nm 파장)를 동시에 전송할 수 있다^[1].

이러한 Triplexer는 상용으로 1개의 LD TO-CAN과 2개의 PD TO-CAN을 Laser Welding으로 결합한 형태의 제품이 출시되어 있으며 PLC(Planer Lightwave Circuit) 기술을 이용한 연구가 진행되고 있다^[2]. 하지만 이러한 제품들은 크기가 커서 MSA(multi-source agreement) 규격을 만족하는 광트랜시버를 만들기 어렵고 광정렬 과정을 포함한 패키징 공정 시간이 길어 생산성이 높지 않다는 문제점을 갖고 있다. 본 연구실에서 개발한 Micro-Block Stacking 방법은 레이저 다이오드, 수신용 포토다이오드, WDM 필터, 마이크로 볼 렌즈 등의 광학 부품을 여러 개의 정밀한 세라믹 블록을 이용하여 위치를 결정하고 광경로 상에 정렬, 고정시키는 방법으로 광 모듈의 패키지 크기를 줄일 수 있고 정렬 공차를 줄여 패키징 공정시간을 단축시킬 수 있는 방법이다^[3,4]. 본 논문은 이전에 발표한 집적형 Triplexer의 광학설계 및 공차 분석 논문^[5]의 후속 논문으로 MBS(Micro Block Stacking) 방법을 이용하여 8 pin Mini-DIL 패키지에 집적형 Triplexer를 제작하였으며 그 광학적 특성을 측정하였다.

II. 집적형 Triplexer 제작

먼저 정밀한 세라믹 부품을 이용하여 각 광학 부품의 위치를 광경로에 정렬하는 MBS 방법으로 집적형 Triplexer를 제작하기 위하여 광학계를 설계하였다. Triplexer에는 2개의 수신용 포토다이오드와 1개의 송신용 레이저 다이오드가 집적되어야 하며 각각의 파장을 분리할 수 있는 파장 분할 필터가 필요하다. 또한 레이저 다이오드에서 발산되는 빛을 광섬유에 집속시키고 광섬유의 빛을 수신용 포토다이오드에 집속시키기 위한 렌즈 시스템이 필요하다. 본 연구에서는 그림 1과 같이 볼 렌즈 2개를 사용하여 레이저 다이오드의 빛을 광섬유에, 광섬유의 빛을 포토다이오드에 집속하는 방법을 사용하였다. 이 방법은 광원의 위치를 조정하여 2개의 볼 렌즈 사이에서 빛이 평행하게 진행하도록 할 수 있으며, 이러한

평행광 시스템은 온도 변화에 따른 광축 길이의 수축, 팽창 영향을 최소화할 수 있어 초점의 위치와 광출력의 변화를 줄일 수 있다. 제작에 사용한 볼 렌즈는 전체 광모듈의 크기와 광섬유와의 광결합 효율을 고려하여 레이저 다이오드 쪽과 포토다이오드 쪽에는 지름 0.5 mm인 마이크로 볼 렌즈를 사용하였고 광섬유 쪽에는 지름 0.8 mm인 볼 렌즈를 사용하였다. 한편 송신부의 1310 nm 파장과 수신부의 1490 nm, 1550 nm 파장을 선택적으로 분리하기 위하여 2개의 WDM 필터를 45도 각도로 배치하였다. 1310 nm/1490 nm WDM 필터는 1310 nm 파장을 통과시키고 1490 nm 파장의 빛을 반사시키며 1490 nm/1550 nm WDM 필터는 1310 nm 파장과 1490 nm 파장을 통과시키고 1550 nm 파장의 빛을 반사시키는 역할을 한다.

그림 1과 같은 집적형 Triplexer 제작에 사용된 각 부품의 크기와 크기 공차를 표 1에 정리하였다. 레이저 다이오드는 파장이 1310 nm인 FP-LD로 문턱전류와 Slope efficiency가 각각 15 mA와 0.35 W/A이며 칩 크기가 $0.3 \times 0.3 \times 0.1 \text{ mm}^3$ 로 각 길이의 공차는 $\pm 5 \mu\text{m}$ 이다. 1490 nm와 1550 nm 수신용 포토다이오드는 수광 영역 지름이 70 μm 인 pin-PD를 사용하였으며 칩 크기가 $0.4 \times 0.4 \times 0.1 \text{ mm}^3$ 이고 각 길이의 공차는 $\pm 5 \mu\text{m}$ 이다. 지름 0.5 mm와 0.8 mm 마이크로 볼렌즈는 BK-7으로 제작된 것을 사용하였고 WDM필터는 중심 파장(1310 nm/1490 nm WDM 필터의 경우 1400 nm, 1490 nm/1550 nm WDM 필터의 경우 1520 nm) $\pm 30 \text{ nm}$ 영역에서 투과 영역 평균 투과율이 90% 이상이고 차단 영역 평균 투과율은 0.5% 이하인 제품으로 제작하였다. 각 부품을 빛의 전달 경로상의 정확한 위치에 고정하기 위하여 LD홀더, PD 홀더, 서브마운트, 베이스마운트 등 정밀 세라믹 부품을 알루미늄 재질로 제작하였으며 이때 크기 공차는 $\pm 30 \mu\text{m}$ 이다.

제작 순서는 먼저 1310 nm/1490 nm 서브마운트 어셈블리

FIG. 1. Structure of the basemount subassembly for the integrated Triplexer using MBS technology.

TABLE 1. The sizes and tolerances of the components for fabrication of the integrated Triplexer

부품명	크기[W·D·H] (mm)	크기 공차 (mm)	비고
FP-LD	0.3×0.3×0.1	±0.005	InGaAsP
pin PD	0.4×0.4×0.1	±0.005	InGaAs
Micro Bal Lens	Ø 0.5	±0.003	BK-7, n=1.517
Micro Ball Lens	Ø 0.8	±0.003	BK-7, n=1.517
1310/1490 nm WDM Filter	1.4×0.8×0.55	±0.05	SODA, n=1.52
1490/1550 nm WDM Filter	1.4×0.8×0.55	±0.05	SODA, n=1.52
LD Holder	1.42×1.0×0.15	±0.03	Al ₂ O ₃
PD Holder	1.0×1.0×0.6	±0.03	Al ₂ O ₃
Submount	2.05×1.95×0.15	±0.03	Al ₂ O ₃
Basemount	5.40×2.15×0.25	±0.03	Al ₂ O ₃

FIG. 2. Fabrication process of the integrated 1310 nm/1490 nm submount assembly.

와 1490 nm/1550 nm 서브마운트 어셈블리를 제작한 다음, 베이스마운트 위에 두 어셈블리와 마이크로 볼 렌즈를 고정시키고, 전체 어셈블리를 8pin mini DIL 패키지에 장착한 후 각 전극을 와이어 본딩하여 집적형 Triplexer를 제작하였다.

1310 nm/1490 nm 서브마운트 어셈블리 제작 방법을 그림 2에 나타내었다. 먼저 에폭시를 서브마운트에 도포한 후 우측 하단에 LD 홀더를 서브마운트 각 선(alignment points)에 맞추어 고정시킨 다음 WDM 필터를 LD홀더 경사면에 맞추어 고정시키고 LD홀더 중앙에 0.5 mm 마이크로 볼 렌즈를 정렬선에 맞추어 고정시킨다. LD 칩은 도전성 에폭시를 사용하여 LD 홀더의 금속 증착된 부분 아래선에 맞추어 고정시킨다. 이때 LD 홀더 중앙 공간 크기와 LD와 렌즈 사이의 거리는 정밀 세라믹 부품 설계시 렌즈 크기와 초점거리를 고려하여 제작한 것이다. 수신용 PD(r-PD)는 PD 홀더의 금속 증착된 부분에 도전성 에폭시를 사용하여 부착한 후 PD 홀더를 서브마운트 좌측 상단에 정렬선에 맞추어 부착하고 PD 앞에 마이크로 볼 렌즈를 고정시킨다.

1490 nm/1550 nm 서브마운트 어셈블리는 1310 nm/1490 nm 서브마운트 어셈블리에서 LD 칩과 마이크로 볼 렌즈 부분만 제거시킨 형태로 제작 방법이 동일하다.

베이스마운트 어셈블리는 제작된 1490 nm/1550 nm 서브마운트 어셈블리와 1310 nm/1490 nm 서브마운트 어셈블리 그리고 0.8 mm 마이크로 볼 렌즈를 그림 1과 같이 에폭시를 사용하여 고정한 것이다. 이때 1490 nm/1550 nm 서브마운트 어셈블리는 베이스마운트에 좌측과 상단 선을 기준으로 부착하고 1310 nm/1490 nm 서브마운트 어셈블리는 1490 nm/1550 nm 서브마운트 어셈블리와 베이스마운트 우측선을 기준으로 부착한다. 이러한 위치는 WDM 필터를 통과하여 꺾이는 빛의 경로를 고려하여 설계한 것이다.

제작된 전체 베이스마운트 어셈블리는 5.40 mm × 2.15 mm × 1.05 mm 크기로 8 pin mini DIL 패키지를 사용하여 집적형 Triplexer를 제작하였다. 그림 3은 집적형 Triplexer 내부 및 pin 배열 구조 그림과 제작한 사진을 비교하여 나타낸 것이다.

그림 4는 제작 완료된 집적형 Triplexer 외부 사진을 나타낸 것이다.

FIG. 3. Internal structure of the integrated Triplexer; (a) design and (b) photograph.

FIG. 4. Photograph of the integrated 8 pin mini DIL Triplexer.

III. 집적형 Triplexer 특성 측정

집적형 Triplexer의 LD에서 방출되어 단일모드 광섬유에 집속되는 광출력을 측정하기 위하여 3차원 자동 능동 광정렬 장비를 사용하였다. 먼저 집적형 Triplexer에서 방출되는 빛의 초점 거리를 측정하기 위하여 광섬유를 0.8 mm 마이크로 볼 렌즈에 가까이 위치시킨 후 50 μm 씩 Z축으로 이동하면서 광출력을 측정하였고 그 결과를 그림 5에 나타내었다. 광섬유 위치가 마이크로 볼 렌즈에서 265 μm 떨어진 곳에 위치하였을 때 광출력이 -14.5 dBm(광결합효율 2%)으로 최대가 되는 것을 알 수 있으며 이 결과는 code V를 이용하여 집적형 Triplexer를 시뮬레이션한 결과에서 얻은 초점 거리 269 μm 와 거의 일치하는 것이다^[5].

그림 6은 광섬유를 광출력이 최대인 초점거리에 위치시킨 후 X축과 Y축 방향으로 이동시켰을 때 광출력의 변화를 측정한 결과이다. x축 방향과 y축 방향 모두 완만한 포물선 형태를 나타내고 있으며 광출력이 3dB 감소하는 위치 변위의 한계가 x축 방향의 경우 +10 μm , -11 μm 이고 y축 방향의 경우 +14 μm , -6 μm 로 FWHM(Full Width at Half Maximum)이

FIG. 5. The measured optical power variation of 1310 nm transmitter part in the integrated Triplexer which is coupled to a single mode fiber when it moves to z direction.

FIG. 6. The measured optical power variation of 1310 nm transmitter part in the integrated Triplexer which is coupled to a single mode fiber when it moves to x or y direction at the focal point.

각각 21 μm , 20 μm 이다. 이것은 제작한 집적형 Triplexer가 위치 변위에 따른 광출력 변화가 크지 않다는 것을 의미하며 이렇게 넓게 퍼져 있는 빛의 분포는 Triplexer와 광섬유 정렬 시 위치 변위의 허용 마진이 커서 패키징 시간을 단축할 수 있다는 장점이 있으나 광섬유에 집속되는 광출력이 높지 않아 장거리용 광모듈 제작이 어렵다는 단점이 있다.

일반적인 상용 Triplexer에서 송신부와 수신부를 각각 별개로 광정렬을 하는 것과 달리 제작한 집적형 Triplexer는 수신부가 송신부와 하나의 어셈블리 안에 고정되어 있다. 따라서 집적형 Triplexer 수신부의 수신감도를 측정하기 위하여 광원이 연결된 광섬유를 송신부 광출력이 최대가 되는 위치에 놓고 PD의 전류를 측정하였다. 이렇게 측정한 수신감도를 자동정렬 수신감도라고 하였고 이 값은 광섬유 위치를 조정하여 PD의 전류가 최대가 되는 위치에서 측정한 최대 수신감도 값과 차이가 있다.

1550 nm 광원을 사용하였을 때 광섬유에서 방출된 빛은 0.8 mm 마이크로 볼 렌즈를 통과한 후 1490 nm/1550 nm WDM 필터에서 반사하여 0.5 mm 마이크로 볼 렌즈에 의해 집속된 후 PD에 수신된다. 이렇게 측정한 1550 nm 수신 PD의 자동정렬 수신감도는 0.83 A/W이었고 광섬유의 위치를 x

FIG. 7. The measured sensitivity of 1550 nm receiver part in the integrated Triplexer when a single mode fiber moves to x or y direction at the focal point.

FIG. 8. The measured sensitivity of 1490 nm receiver part in the integrated Triplexer when a single mode fiber moves to x or y direction at the focal point.

축과 y축으로 이동하였을 때 수신감도의 변화를 그림 7에 나타내었다. 송신부 광출력이 최대가 되는 자동 정렬된 위치를 기준으로 +45 μm , -35 μm 범위 내에서 수신감도가 0.7 A/W 이상 유지되는 것을 알 수 있다. 또한 y축 보다 x축 방향으로 이동하였을 경우 수신감도의 변화가 크게 나타나는 것을 알 수 있으며, 이것은 x축 방향으로 이동하는 경우 마이크로 볼 렌즈를 통과한 빛이 WDM 필터에서 반사하는 각도가 변화하여 나타나는 현상으로 판단된다.

1490 nm 광원을 사용하였을 때 광섬유에서 방출된 빛은 0.8 mm 마이크로 볼 렌즈와 1490 nm/1550 nm WDM 필터를 통과한 후 1310 nm/1490 nm WDM 필터에서 반사하여 0.5 mm 마이크로 볼 렌즈에 의해 집속된 후 PD에 수신된다. 이렇게 측정한 1490 nm 수신 PD의 자동정렬 수신감도는 0.73 A/W이었고 광섬유의 위치를 x축과 y축으로 이동하였을 때 수신감도의 변화를 그림 8에 나타내었다. 송신부 광출력이 최대가 되는 자동 정렬된 위치를 기준으로 +30 μm , -3 μm 범위 내에서 수신감도가 0.7 A/W 이상 유지되는 것을 알 수 있다. 1550 nm 수신부와 마찬가지로 y축 보다 x축 방향으로 이동하였을 경우 수신감도의 변화가 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 정밀 세라믹 부품을 이용한 MBS(Micro-Block Stacking) 방법으로 집적형 Triplexer를 제작하였다. Micro-Block Stacking 방법은 레이저 다이오드, 수신용 포토 다이오드, WDM 필터, 마이크로 볼 렌즈 등의 광학 부품을 여러 개의 정밀한 세라믹 블록을 이용하여 위치를 결정하고 광경로 상에 정렬, 고정시키는 방법으로 광모듈의 패키지 크기를 줄일 수 있고 정렬 공차를 줄여 패키징 공정시간을 단축시킬 수 있는 방법이다. 집적형 Triplexer 제작 순서는 먼저 1310 nm/1490 nm 서브마운트 어셈블리와 1490 nm/1550 nm 서브마운트 어셈블리를 제작한 다음, 베이스마운트 위에 두 어셈블리와 마이크로 볼 렌즈를 고정시키고, 전체 어셈블리를 8 pin mini DIL 패키지에 장착한 후 각 전극을 와이어 본딩하였다. 제작된 전체 어셈블리는 5.40 mm × 2.15 mm × 1.05 mm 크기로 통신용 광모듈 국제 표준인 MSA(Multi Source Agreement) 규격의 SFP(Small Form Pluggable) 광모듈 제작이 가능하다.

3차원 자동 능동 광정렬 장비를 사용하여 제작된 집적형 Triplexer를 단일모드 광섬유에 광정렬하였을 때, 1310 nm 송신부 최대 광출력이 -14.5 dBm이었고, 송신부에 의하여 위치가 자동 정렬된 1550 nm와 1490 nm 수신부 수신감도는 각각 0.83 A/W, 0.73 A/W로 단거리 통신에 적용 가능한 값을 얻었다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 광주대학교 대학 연구비의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

1. ITU-T Recommendation G.984.1, "Gigabit-capable passive optical networks(GPON): general characteristics," 2003.3.
2. J. S. Choi, "Design of PLC triplexer using three waveguide interferometer," J. Opt. Soc. Korea **12**, 162-165 (2008).
3. H. J. Yoon and K. N. Jun, "Compact bidirectional optical module using ceramic blocks," IEEE Photon. Technol. Lett. **16**, 1954-1956 (2004).
4. H. J. Yoon and J. G. Kim, "622-Mb/s bidirectional SFP optical transceiver using an integrated WDM optical subassembly," IEEE Transactions on Advanced Packaging **31**, 423-428 (2008).
5. H. J. Yoon and J. H. Kim, "Optical design of the integrated triplexer fabricated by micro block stacking method," Korean J. Opt. Photon. **22**, 191-197 (2011).
6. D. Derickson, *Fiber Optic Test and Measurement* (Prentice Hall PTR, New Jersey, USA, 1998), pp. 288-297.