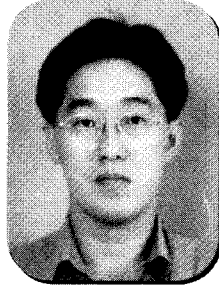


광소자 패키징 기술



· 이영민 ·

삼성전자(주) 통신연구소
Network 연구팀 광전자랩 수석연구원

1. 서론

21세기 정보화 시대에는 광대역 통신, 즉 광통신을 근간으로 하는 통신 네트워크 구성과 이 네트워크를 통해 다양한 부가가치의 정보 서비스 산업이 발전할 것으로 기대되고 있다. 그림 1은 광섬유로 연결되어 있는 통신 네트워크 구조의 개략도로 장거리망(Long Haul Network)은 1990년대에 집중투자가 되어 상대적으로 전송용량이 확보되어 있어서 앞으로는 비즈니스 및 가정에서 광대역 통신 수요가 증가하면서 도시망(Metro-Core) 및 도시가입자망(Metro-Access) 전송용량 수요가 증가할 전망이다[1]. 특히, LCD 혹은 PDP 기반의 HDTV(High definition Television)를 통한 디지털 방송과 고화질 VOD(Video on Demand) 서비스, 고속 인터넷 서비스를 집에서 구현하고자 하는 욕구가 증대하면서 광섬유가 집까지 연결되는 FTTH(Fiber To The Home) 초고속망이 수년 내에 실현될 것으로 기대된다[2]. 이러한 광대역 통신망은 전기적 신호를 빛의 신호로 변환해주는 발광소자와 빛의 신호를 전기적 신호로 변환해주는 수광소자등의 광전자 부품으로 구현되게 된다.

광의적인 의미에서 광전자 패키징 기술이란 발광 다이오드, 수광 다이오드, 반도체 광증폭기

(Semiconductor Optical Amplifier) 등과 같은 광 능동 소자(Active Photonic Devices)와 AWG(Arrayed Waveguide Grating) 나 필터 등과 같은 광 수동소자(Passive Photonic Devices)를 각각의 용도에 맞게 그 기능을 구현하면서도 사용환경에서 신뢰성이 보장되는 형태로 제품화하는 기술의 총칭이라 할 수 있다. 그림 2는 광소자 패키징 기술이 소자에서 모듈범위로 확대되어 가는 과정을 나타낸 것이다. 광 패키징 기술

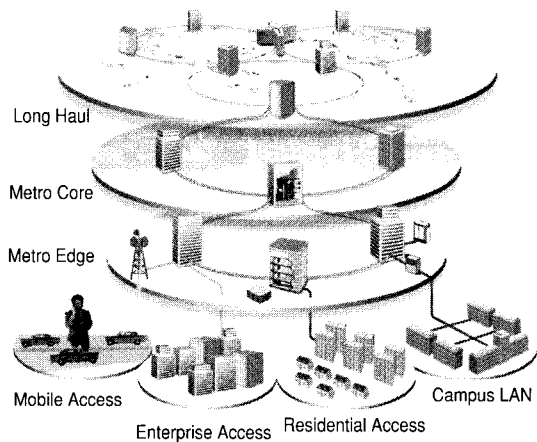


그림 1. 통신 네트워크 구조의 개략도.

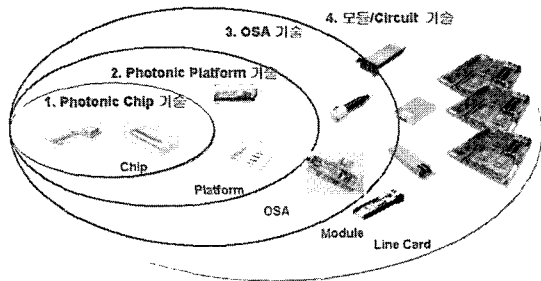


그림 2. 광소자 패키징.

을 광의적으로 해석을 하면 광소자부터 광소자가 제품화되는 광통신 시스템까지 다루어야 하므로 이 글에서는 협의적 개념으로 광소자를 광부품으로 만드는 기술로 국한하여 설명하고자 한다. 따라서 본 글에서는 전자소자 패키징과는 차별화되면서 광소자 패키징의 핵심 기술인 Photonic Platform 기술과 OSA(Optical Subassembly) 기술을 중심으로 기술하고자 한다.

2. 본론

2.1 광통신의 이해

먼저, 광소자 패키징 기술의 설명에 앞서 광소자 패키지가 필요한 광통신의 원리에 대해 간단히 설명하고자 한다. 그림 3은 광섬유를 통해 정보를 한 곳에서 다른 곳으로 전송하는 방법에 대한 개념도이다. 광송신부는 보내고자 하는 디지털 신호를 드라이버가 LD(Laser Diode)를 구동, 변조하여 레이저의 광출력을 조절하여 광섬유를 통해 신호를 보내면 광수신부의 PD(Photo Diode)가 빛을 전기적 신호로 바꾸어 TIA(Transimpedance Amplifier)와 Limiting Amplifier를 통해 디지털 신호로 복원하게 되는 과정을 통해 광통신이 이루어진다[3]. 그림 4는 광송신부와 광수신부를 구성하는 LD와 PD 패키지의 실제 내부 구조를 보여주고 있다. 일반적으로 전자 소자 패키지는 패키지 내부에 칩(chip)이 하나만 내장되지만 그림 4에서 볼 수 있듯이 광학계, 광섬유, TEC(Thermo-Electronic Cooler), 기판, m-PD, Diver IC, TIA chip 등이 내장되어 아주 복잡한 구조를 보여주고 있다.

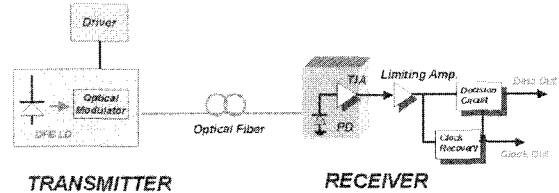
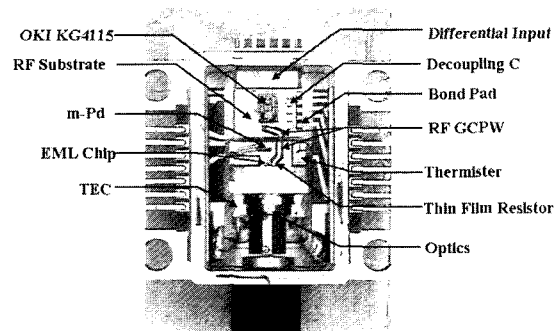
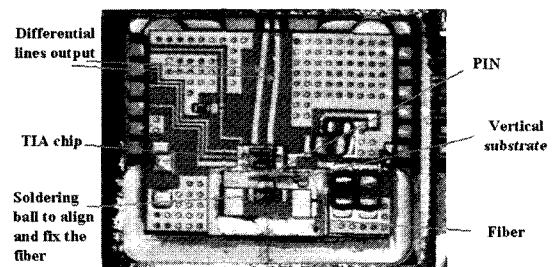


그림 3. 광통신 개념도.



(a) LD 패키지 내부도.



(b) PD 패키지 내부도.

그림 4. 전형적인 광 송수신 패키지 내부.

고 있다. 물론, 광부품은 사용환경과 요구 사양에 따라 다양한 구조를 갖고 있지만 전형적인 예를 들어 설명하기로 한다.

한편, 광송신부와 광수신부를 연결하는 광섬유에 대한 이해가 필요하므로 간략히 설명하고자 한다. 광섬유(Optic fiber)는 석영 유리나 플라스틱 등의 투명한 유전체를 가늘고 길게 뽑아서 만든 섬유로 그 중심 부분에 빛을 통과시키는 것으로 현재 가장 많이 쓰이는 것은 규소 산화물(SiO₂: 실리카) 광섬유인데, 머리카락 굵기의 유리 섬유에 불과하지만 그

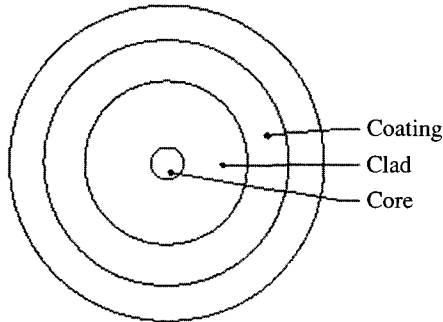


그림 5. 광 섬유의 단면 구조.

기능은 지극히 정교하고 치밀한 광도파로(optical waveguide)이다. 그림 5는 광섬유의 단면구조를 나타낸 것으로 코어(core),클래드(clad) 구조의 광섬유, 즉 빛을 통과하는 핵심 부분인 코어의 굴절률보다 빛이 밖으로 나가지 못하게 하는 차단층인 클래드의 굴절률을 약간 작게 하여 코어에 입사된 빛이 굴절률이 다른 코어와 클래드의 경계면에서 전반사를 반복하면서 전파하도록 설계되어 있다.

광섬유의 종류는 굴절률 분포(refractive index profile), 빛의 전파 형태(즉 전송 형태), 재료 및 제조 공법에 따라 여러 가지로 구분되는데 광통신에서 가장 많이 사용되는 것은 표 1에 기술한 것 처럼 단일 모드 광섬유와 다중모드 광섬유이다. 광섬유를 이용한 케이블은 동축 케이블 등에 비해 유도 장애가 없어서 저손실로 중계 간격을 수십 배나 길게 할 수도 있고, 대역폭이 넓어 대용량 고속 전송(수백 Mbps에서 수십 Gbps까지)이 가능하며, 부피가 작고 가벼워 기술적으로나 경제적으로 이점이 많은 중요한 전송 매체이다.

표 1. 광섬유 분류 및 주요 특징.

	단일 모드 광섬유 (Single mode fiber : SMF)	다중 모드 광섬유 (Multi mode fiber : MMF)
Core/Clad 직경	9 μ m / 125 μ m	50 μ m / 125 μ m 62.5 μ m / 125 μ m
전송손실(파장)	0.4dB/km(1.3 μ m)	3dB/km(0.85 μ m)
대역폭	10GHz · km	100MHz · km~1GHz · km
주요 용도	중장거리 전송망	데이터 링크, 가입자망

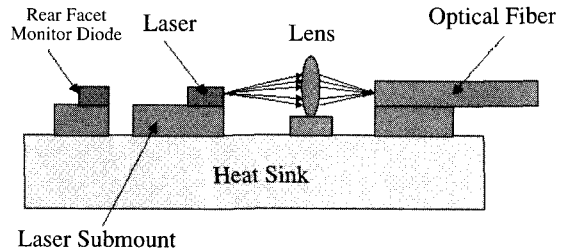


그림 6. 전형적인 레이저 다이오드 패키지의 내부 구성요소.

2.2 광소자 패키징 기술

그림 6은 전형적인 레이저 다이오드의 패키지 내부 구조를 개략적으로 나타낸 것이다. 레이저에서 발광되는 빛이 렌즈를 통해 집광되어 광섬유의 코어층으로 집속되어 전송하게 된다. 이때, 레이저와 렌즈, 광섬유의 코어층과의 정렬을 잘 해야만 원하는 빛의 세기(출력)로 광섬유로 전달될 수 있다. 광정렬 및 광 결합효율등에 대해서는 다음 절에서 보다 자세히 설명하기로 한다.

광소자의 패키징·공정은 탑재되는 광소자나 요구되는 사양에 따라 다양하다. 일반적으로 광소자인 레이저 다이오드나 수광 다이오드는 TO 패키지, Mini-DIL, Mini-Flat, Butterfly 패키징등에 탑재되어 광송수신 모듈에 부품으로 사용되는데 통상적으로 OSA라고 불린다. 그림 7은 DFB(distributed feedback) 레이저 다이오드를 Butterfly 세라믹 패키지에 탑재하는 패키징 공정 절차를 도식적으로 나타낸 것이다. 먼저 핵심 부품인 LD, M-PD, 렌즈를 SiOB(Silicon Optical Bench)위의 정해진 위치에 실장한다[4]. 이때

SiOB는 Photolithography 방법으로 정밀하게 전기적 패턴과 광섬유나 lens가 장착 될 수 있도록 V-Groove 등이 형성되어 있어서 정밀한 실장이 가능하고 패키징 공정을 단순하게 하여 원가 절감이 가능하도록 레이저 패키지에서 가장 많이 쓰이는 Platform 기술이다. 다음에는 SiOB 블록을 주로 Al₂O₃ 혹은 AlN 세라믹 Submount에 실장하고 Isolator, Thermister, RF 배선 블록등이 실장된다. 마지막으로 주요 부품이 실장된 Submount를 패키지 내에 실장하게 된다. 물론 패키지 구조나 공정에 따라서 먼저 Submount 를 먼저 패키지 내에 부착한 후에 SiOB, Isolator 등 다른 부품을 나중에 부착하는 방법도 있다.

광 패키지가 전자 소자와 다른 점을 여기서 언급하고자 하는데 바로 TEC(Thermo-Electronic Cooler)인데 레이저는 사용환경에서 온도가 올라가면 레이저의 광출력이 떨어지게 된다. 특히 광출력이 온도에 따라 심하게 변하는 레이저인 EML(Electro-Modulator integrated Laser)이나 DFB 레이저 경우에는 TEC를 패키지 바닥과 Submount 블록 사이에 삽입되는 구조를 갖는다[5]. 즉, 레이저 온도를 통상 25°C 에서 유지되도록 TEC가 레이저 부분의 온도가 25°C 보다 높으면 열을 밖으로 빠져 나가게 작동하고 반대로 25°C 보다 낮으면 열을 발생하여 온도를 유지하는 역할을 하게 된다. 물론 레이저 출력의 온도 의존성

이 낮거나 소모 전력을 줄이기 위해 TEC를 사용하지 않는 레이저 패키지도 있다. Submount 블록을 패키지 내에 장착할 때에는 레이저에서 방출한 광출력이 패키지의 렌즈하우징과 광섬유에 잘 정렬되도록 레이저를 구동한 상태에서 0.2μm 이하로 매우 정밀하게 제어가 가능한 장비로써 능동정렬(Active Alignment)한다. 물론 능동정렬 방법이 공정시간이 길어 원가 상승 원인이 된다. 마지막으로 렌즈하우징을 능동 정렬한 상태에서 레이저 welding 으로 패키지와 결합시킨 후에 최종적으로 Hermetic sealing 을 위해 금속 두경으로 접합하게 된다. 표 2는 광소자 패키징과 전자소자 패키징 기술의 차이점을 간략히 표에 나타낸 것이다.

표 2. 광소자 패키징과 전자소자 패키징 기술의 비교.

	광소자 패키징	전자소자 패키징	
Wafer 재료	GaAs or InP	Si	
Chip	크기	300~500μm 이내	수 mm~20mm
	두께	100μm	300~500μm
패키지 형태	Hermetic 패키지 : TO, 세라믹 패키지	플라스틱 패키지 : TSOP, CSP, SOP, BGA	
주요 특징	- 광학 설계 및 정렬 - 고 신뢰성 확보 - 열 설계	- 자동화, 표준화 - 소형화, 집적화 - Low Cost	

2.3 핵심 기술

2.3.1 Platform 기술

광전자 패키지는 앞서 간단히 설명한 것처럼 광전자 chip만 내장되는 것이 아니라 렌즈, m-PD, Isolator, 배선용 세라믹 기판등 여러가지 부품이 내장되므로 이들을 하나의 Platform 위에 실장하여 패키징 공정을 단순화하려는 노력을 해왔는데 이것을 Platform 기술이라 한다. 그림 8은 광 패키징에서 사용되거나 개발중인 대표적인 Platform 기술을 소개한 것이다. 그림 8-(a) 전형적인 SiOB 예를 보여주고 있는데, SiOB Platform 위에 LD 뿐만 아니라 m-PD, 렌즈가 실장되고 또한 동시에 RF Input, DC Electrodes 등이 패터닝되어 있다. 그림 8-(b)는 LIGA(an acronym from German words for lithography, electroplating, and molding) 공정으로 제작된 미세 광 부품과 광소자

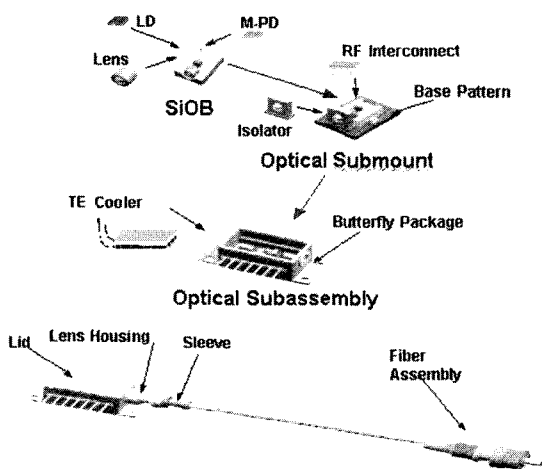
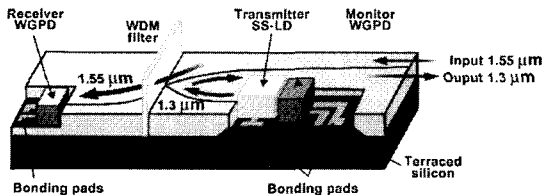
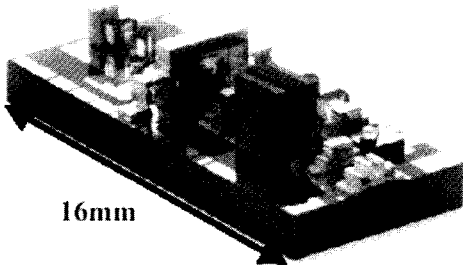
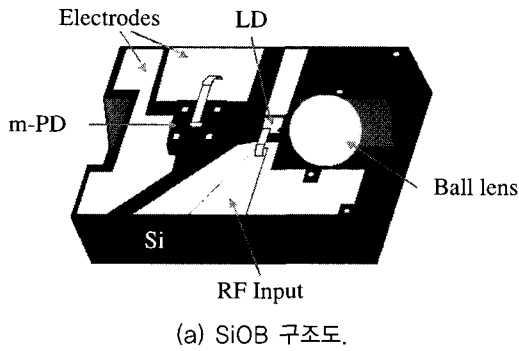


그림 7. 광 패키지 공정 절차도.

chip등을 Si 기판위에 실장하여 만든 SiOB 구조이다 [6]. 이들 공정으로 제작된 SiOB는 모든 광부품이 Platform위에 실장되고 광축 정렬도 매우 정교하게 할 수 있어서 대량 생산시에 원가 경쟁력이 있는 패키징 기술로 평가 받고 있다. 마지막으로 그림 8-(c)는 한 가닥의 광섬유를 통해 양방향 전송이 가능한 양방향 송수신 모듈에 사용되는 Bidirectional PLC (planar Lightwave Circuits) Platform의 도식도를 나타낸 것이다[7].



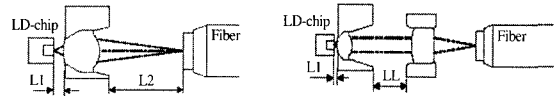
Source: NTT

(c) Bidirectional PLC.

그림 8. 광패키지에서 사용되는 Platform 의 형태.

2.3.2 광 결합 기술

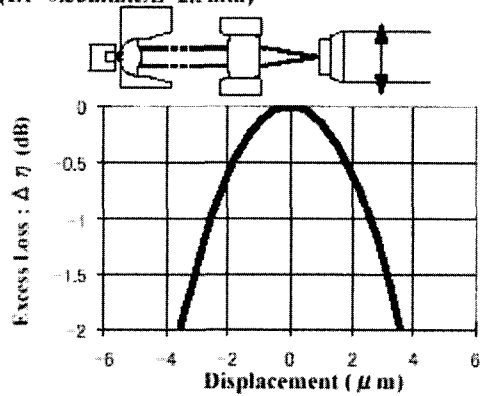
하나의 광 장치에서 다른 쪽으로 결합시킬 때 항상 광 출력의 손실이 발생하게 되는데 광 결합 기술을 이용하여 가능한 광출력 손실을 적게 하거나 일정한 광 결합 효율을 얻고자 한다. 광 결합 손실은 광원과



(a) 1 렌즈와 2 렌즈 광학계 구조.

Excess Loss vs. Fiber XY displacement

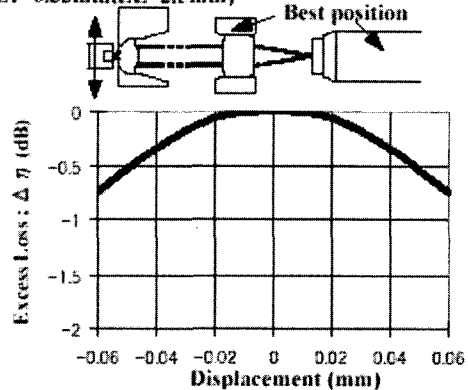
(L1=0.33mm, L2=2.5mm)



(b) Excess loss vs Fiber X-Y displacement.

Excess Loss vs. LD XY displacement

(L1=0.33mm, L2=2.5mm)



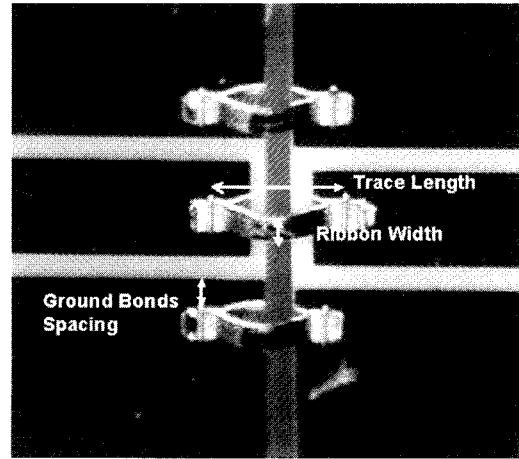
(c) Excess loss vs LD X-Y displacement.

그림 9. 광학계 설계 및 공정 한계.

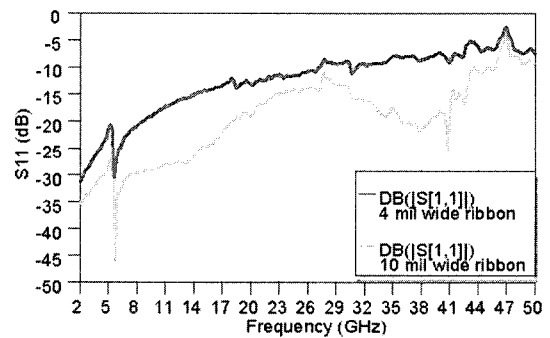
광섬유 간을 결합하는 경우와 광섬유 상호 간을 결합하는 경우의 손실로 구분할 수 있다. 그림 9-(a)는 LD와 광섬유간에 1 렌즈계 및 2 렌즈계를 사용하여 광 결합 설계를 하는 경우에서 LD와 렌즈 사이거리(L1) 혹은 렌즈와 렌즈 사이거리(LL), 렌즈와 광섬유 사이거리(L2) 등의 변수에 대해 도식적으로 나타낸 것이다. 실제로 광학계를 설계하는데 있어서 먼저 고려할 사항은 광 결합 효율, 비용과 패키지 크기이다. 광 결합 효율은 레이저의 광출력과 광모듈의 출력 사양을 고려하여 패키지 설계시에 결정된다. 그림 9-(b)는 최적의 광 결합효율에서 단일모드 광섬유가 X-Y 축으로 어긋나는 정도에 따른 결합손실을 나타낸 것으로 약 $3\mu\text{m}$ 정도 어긋나면 광손실이 1dB 정도 발생하는 것을 알 수 있다. 그림 9-(c)는 최적의 광 결합효율에서 LD 위치의 어긋남에 따른 광효율 저하를 나타낸 것인데 $0.1\mu\text{m}$ 만 틀어져도 광출력이 1dB 이상 저하되는 것을 알 수 있다. 여기서 알 수 있듯이 광출력에 대한 공정 허용범위를 크게 하기 위해서 먼저 LD를 장착한 후에 렌즈와 광섬유를 차례로 정렬하는 순서로 제작된다. 섬유 상호 간의 결합 손실은 광섬유 코어의 축 어긋남, 각 어긋남, 끝단 벌어짐, 거친 끝 단면, 규격이 다른 광섬유 연결 등으로 손실이 발생한다.

2.3.3 전기적 배선 설계

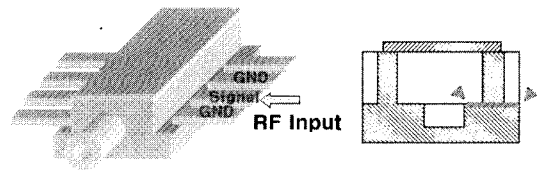
광통신 용량이 증가하면서 레이저를 구동하는 드라이버의 동작주파수가 10GHz 이상으로 증가하면서 전기적 신호를 레이저에 잘 전달되기 위한 전기적 배선 및 패키지 배선의 전기적 특성이 매우 중요해지고 있다. 다시 말하면, 전기적 배선 설계가 적합하지 않으면 즉 배선의 임피던스 부정합(Impedance Mismatch)이 심해지면 원하는 전기적 신호가 레이저까지 전달되지 않아 원하는 신호 전송이 불가능해진다. 그림 10-(a)는 원형의 wire 비해 인덕턴스가 낮아 배선의 전기적 특성이 향상되는 Ribbon 본딩의 예와 전기적 특성에 미치는 인자들을 나타낸 것이다. 그림 10-(b)에서 알 수 있듯이 Ribbon 폭이 클수록 S11(반사손실)이 작은 것을 알 수 있다. 이처럼 세라믹 배선 기판과 기판을 연결하는 Wire bond의 전기적 특성의 향상을 위해 공정변수의 제어나 최적화



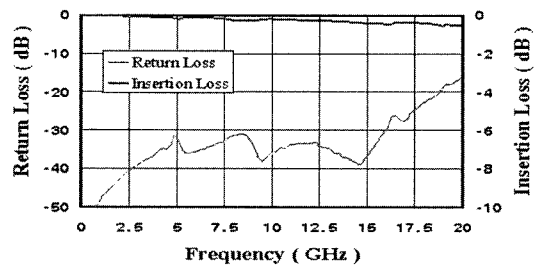
(a) Ribbon Bonds.



(b) Ribbon 폭에 따른 반사 손실.



(c) 세라믹 패키지의 외형 및 RF Input 단면도.



(d) 그림 4-(c)의 S-parameters 모델링 결과. 그림 10. 광 패키지 배선의 전기적 특성 평가.

연구가 필요하다.[8, 9] 그림 10-(c)는 패키지에서 RF 신호가 들어가는 단자의 전기적 특성을 모델링한 것으로 각 단자의 폭, 간격, 유전체의 두께 등에 의해 전기적 특성이 달라진다. 그림 10-(d)는 이러한 변수를 최적화하여 20GHz 까지 삽입손실(Insertion loss)이 1dB 이하이고 반사손실(Return Loss)가 -15dB 이하로 아주 양호한 특성을 보여주고 있다. 이처럼 광전자 패키지에서도 전송신호의 주파수가 증가하면서 전기적 신호가 지나가는 배선의 전기적 특성의 최적화하는 기술이 매우 중요해지고 있다.

3. 결론

광전자 패키징 기술이 다루어야 할 기술적인 범위와 내용이 방대하여 모든 것을 기술하지는 못했지만 본 글을 통해 광전자 패키징을 이해하는데 도움이 되길 바란다. 마지막으로 광전자 패키징 기술을 요약하면, 레이저에서 방출되는 빛을 광섬유로 잘 전달될 수 있도록 하고 마찬가지로 광섬유로 들어온 빛을 수광 다이오드에 집적시켜 전기신호로 잘 복원될 수 있도록 하는 광학 설계와 정렬공정이 가장 핵심적인 기술이라 할 수 있다. 또한, 패키지 내에 여러 부품이 내장되므로 구조 설계, 재료 설계, 공정 설계 등이 잘 이루어져 고 신뢰성을 확보해야 한다. 또한, 전송하는 신호의 전송속도가 높아지므로 레이저를 구동하거나 포토 다이오드에서의 전기적 신호 복원이 원활하게 하기 위해서는 전기적 배선이나 패키지의 전기적 특성 확보가 중요해지고 있다. 마지막으로, 광부품 및 광통신 기술이 우리 일상생활에 가깝게 보급되기 위해서는 원가 경쟁력이 있는 광소자 부품 및 패키징 공정개발이 요구되고 있다.

참고 문헌

[1] N. S. Bergano, "WDM long haul transmission systems", Optical Fiber Communication Conference and Exhibit, 1998. OFC '98., Technical Digest, 22-27 Feb. 1998.
 [2] T. T. Volotinen, "An integrable and cost effective FTTH-network structure", Optical Fiber Communication Conference, 2000, Vol. 4, 7-10, March 2000.
 [3] D. K. Mynbaev and L. L. Scheiner, "Fiber-Optic

Communications Technology", Prentice Hall, ISBN 0-13-962069-9, 2001.

[4] J. W. Osenbach, et al., "Low cost/high volume laser modules using silicon optical bench technology", Electronic Components and Technology Conference, 48th IEEE, p. 581, 25-28 May 1998.
 [5] K. Terada, et. al., "Isolator-free DFB-LD module with TEC control using silicon waferboard", Electrical Performance of Electronic Packaging, 1996., IEEE 5th Topical Meeting, p. 71, 28-30 Oct. 1996.
 [6] P. S. Whitney, "Hybrid integration of photonic subsystems", Electronic Components and Technology Conference, 2002. Proceedings. 52nd, p. 578, 28-31 May 2002.
 [7] T. Hashimoto, et.al, "Full duplex 1.3/1.55 μ m wavelength division multiplexing optical module using a planar lightwave circuit platform", Broadband Optical Networks and Technologies : An Emerging Reality/Optical MEMS/Smart Pixels/Organic Optics and Optoelectronics. 1998 IEEE/LEOS Summer Topical Meetings, p. II/59, 20-24 July 1998.
 [8] N. Hassaine, et.al., "Interconnection parasitic effects on optical communication circuit performances", Radio and Wireless Conference, 1999. RAWCON 99. 1999 IEEE, p. 267, 1-4 Aug. 1999.
 [9] Ivy Wei Qin, et. al., "Automatic wedge bonding with ribbon wire for high frequency applications", Electronics Manufacturing Technology Symposium, 2002. IEMT 2002. 27th Annual IEEE/SEMI International, p. 97, 17-18 July 2002.

· 저 · 자 · 약 · 력 ·

성명 : 이영민

❖ 학력

· 1993년 한국과학기술원 재료공학과 공학박사

❖ 경력

· 1993년 - 1997년
 삼성전자(주) 반도체총괄 패키지개발팀 책임연구원
 · 1997년 - 2001년
 한국전자통신연구원 선임연구원
 · 2000년 - 2001년
 Lucent Technologies사 Bell Labs.(Mur ray Hill, NJ, 미국), Network Hardware Integration Department, 교환연구원
 · 2002년 - 현재
 삼성전자(주) TN총괄 통신연구소 광전자랩 수석연구원