

# 소 특 집

## 광통신송수신 모듈 패키징 기술

고 재 상

한국전자통신연구원 광통신부품연구센터

### I. 서 론

최근의 급속한 개인용 컴퓨터의 보급으로 정보 통신의 이용은 폭발적으로 확대되고 있으며 정보 수집의 중요한 수단이 되어가고 있다. 과거에는 주로 서적이나 매스미디어에 의존해온 정보수집 방법은 보관과 참조가 불편하고 즉시성이 없으므로 정보통신 수단에 의해 대체 되어가고 있는 추세이다. 음성이나 제한된 텍스트에 의한 정보에 만족했던 과거의 통신 수요가 최근에는 영상, 음성, 각종 데이터 베이스 등의 멀티미디어 정보 서비스를 구현할 수 있는 통신 수단을 요구함에 따라 통신시스템이 기존의 국간 전송 개념에서 네트워크 개념으로 진화하게 되었다. 이에 따라 초고속 광통신 시스템도 160 Gbps급 및 640 Gbps급 초대용량 파장분할 다중화 방식의 광통신 시스템으로 진보하고 있다. 10 Gbps를 16채널로 파장 다중화 시킨 160 Gbps급의 시스템이 국내에서 이미 개발 되었고 현재는 64채널로 640 Gbps시스템에 이어 80 ch/800 Gbps 시스템이 ETRI에서 개발되고 있다.

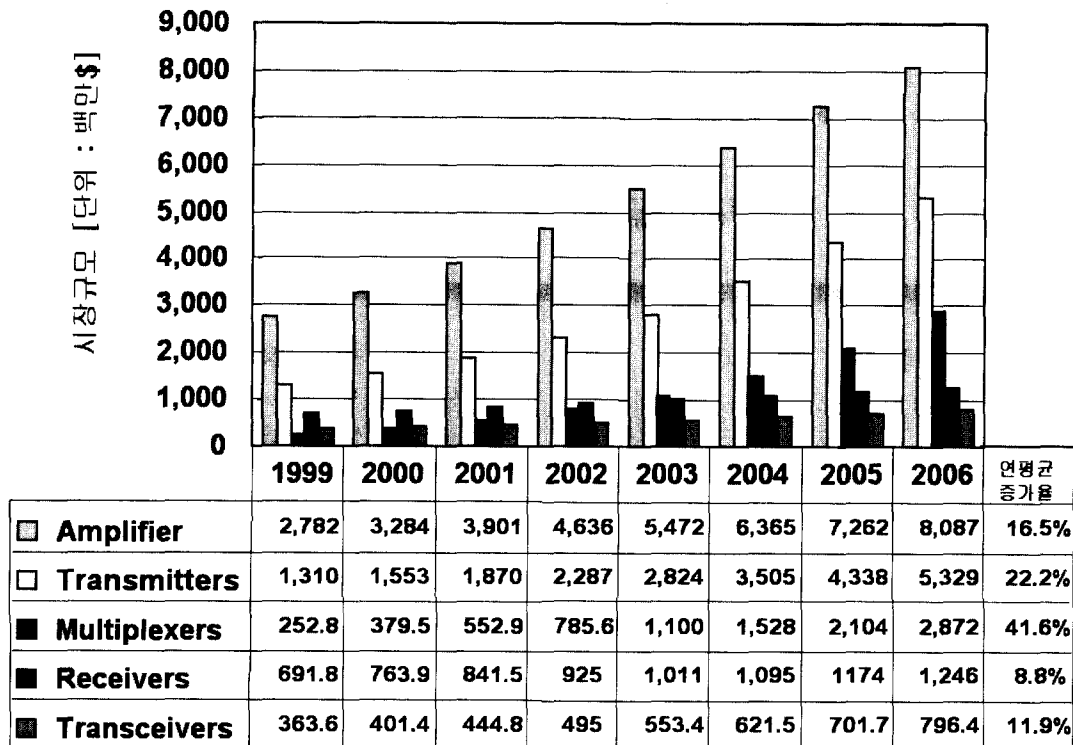
광송수신 모듈은 전기신호를 광신호로 변환하고 반대로 광신호를 전기신호로 변환하는 장치로서 광통신의 핵심요소이지만 아직 이 분야에 대한 국내의 연구개발은 미진한 상태로서 대부분을 수입에 의존하고 있는 실정이다. 2000년대에는 인터넷이나 멀티미디어 통신, 케이블 TV 및 화상회의 등이 가정에서도 이용하게 될 수 있도록 광파이버의 일반 가입자 이용(FTTH)이 활성화 될 것이 확실시되므로 이를 대비한 광송수신

모듈 개발은 국내는 물론 해외시장 진출을 위한 급선무라 할 수 있다. <그림 1>에 나타낸 바와 같이 광모듈 시장규모는 2003년도에 세계적으로는 약 109억 \$로 광송수신모듈이 그중에서 40% (44억)를 차지하며, 국내시장은 약 3,000억원 (세계시장의 2.5% 점유율 가정)으로 예상된다. 향후 대규모 광통신부품 시장의 형성이 예측되는 차세대 광인터넷 시대에 대비하기 위해 국내 자체의 광소자 및 전자소자와 다양한 패키징 기술이 응용된 광모듈 개발을 통해 국제 경쟁력을 갖추며, 광통신부품 수입 대체가 가능할 것으로 전망된다. 수출규모는 2억 \$ (세계시장의 2% 점유율 가정)과 1,500억원 (국내시장의 50% 점유율 가정)의 수입대체효과를 유발시킬 수 있음은 물론 1천여명 이상의 고용효과가 발생하게 될 것으로 예상된다.

광송수신 모듈의 핵심 기술은 크게 소자개발과 설계기술 및 공정 기술로 분류 할 수 있다. 본고에서 기술하고자하는 패키징 기술은 설계기술과 공정기술을 포함한다.

설계기술은 광학설계기술, RF 회로설계기술, 패키지 열 및 구조설계 등으로 나눌 수 있다. 광학 설계기술은 Optical coupling efficiency 및 Optical alignment tolerance 향상을 위한 연구개발이 진행되고, RF설계기술은 노이즈 최소화과 패키지 사이즈 소형화를 위한 방향으로 진행되고 있다. 열설계 및 구조설계는 외부 또는 내부에서 발생하는 열에 대한 방열 효과를 높이고, 열팽창 및 외력요소에 대한 모듈구조의 안정성을 높이는 설계를 주요 목표로 하고 있다<sup>1)</sup>.

공정 기술은 설계된 모듈의 성능을 실현하는



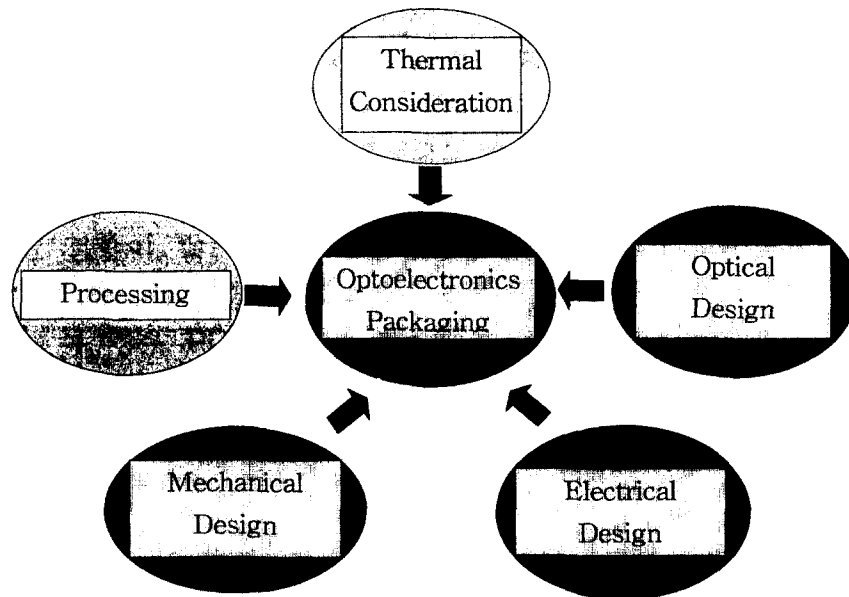
〈그림 1〉 세계 광통신 부품시장 전망

중요한 분야이다. 공정 기술의 가장 핵심은 정렬 기술과 접합 기술로 분류된다. 정렬 기술은 광학 설계와 열 및 구조설계의 Alignment tolerance의 범위에 따라 능동형 정렬 기술과 수동형 정렬 기술이 선택적으로 적용되고 있다. 능동형 정렬 기술은 정밀도가 높은 작업이 가능하지만 공정 시간이 길고 공정장비의 가격이 고가이고, 수동형 정렬방식은 부품의 제작정밀도에 전적으로 의존하기 때문에 정밀도가 높은 작업은 수행하기 어려운 반면 생산성이 높다. 접합기술은 Long term reliability에 가장 밀접한 관련을 가지고 있는 중요한 요소로써, Soldering, Wire bonding, Flip-chip bonding, Laser welding, Thermal/UV epoxy bonding 등의 기술이 현재 가장 널리 적용되고 있고, 접합제의 특성과 접합방식 및 조건에 따라 그 특성변화의 예측이 어렵기 때문에 선택된 특정한 접합방식에 대해서는 반드시 시험검증 절차를 필요로 한다.

## II. 광모듈 설계 기술

### 1. 개요

반도체 광소자가 시스템에서 요구된 기능을 발휘하려면 광섬유와 결합된 모듈의 형태로 패키징되어야 한다. 이러한 광송수신 모듈을 제조하기 위해서 고려되어야 할 사항들을 〈그림 2〉에 나타내었다. 광송수신 모듈은 광전집적회로로 구성되어 있기 때문에 광학계 및 광소자를 구동 및 신호를 처리하기 위한 RF 인터페이스가 기본적으로 고려되어야 하고, 부가적으로 제조 공정과 모듈의 동작에 수반되는 열적 안정성과 조립된 부품의 신뢰성이 충분히 고려되어야 할 것이다. 광소자와 광섬유의 결합에서는 광모듈의 전송속도와 무관하게 광신호를 효율적으로 결합하기 위해서는 광학계의 정렬오차를 최소화하고, 물리적인 정렬오차의 허용도(tolerance)는 크게 하여 제



〈그림 2〉 광송수신 모듈 제작에서 고려되어야 할 사항

조 비용을 줄여야 한다. 이를 위해 벌크 렌즈(예, 볼렌즈, GRIN 렌즈 등)를 이용하거나, 광섬유 자체를 렌즈로 제작하여 이러한 문제점을 해결하기 위해 연구가 활발히 진행되고 있다. 전기 배선 측면에서는 바이어스 전압의 인가를 위한 인터페이스가 요구되고, 필요하다면 신호를 증폭해야 한다. 전송에서 요구된 포맷에서 신호를 출력해야 한다. 고속 신호 처리에서 이러한 기능을 효과적으로 달성하기 위해서는 기생성분의 최소화와 임피던스의 매칭 문제가 해결되어야 한다. 광모듈이 대기 환경의 변화에 따른 안정된 작동을 보장하기 위해서는 소자들에 의해 발생하는 열의 효과적인 분산이 이루어져 소자들의 동작특성이 일정하게 유지되어야 한다.

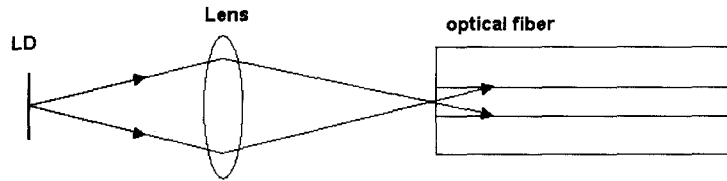
본고에서는 위에서 간단히 살펴보았듯이 광모듈을 제작할 때 엔지니어들이 고려해야 할 사항들을 광학계 측면, 전기 배선적 측면 및 열적 동작 측면으로 나누어 자세히 다루고자 한다.

## 2. 광학설계

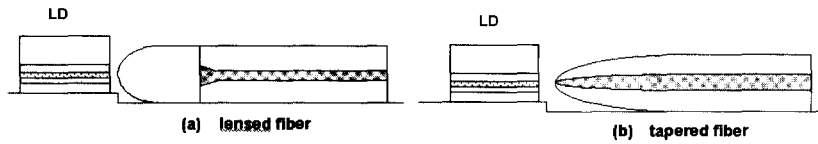
광송수신 모듈의 광 패키징 시 결합효율을 높이기 위해서 빔의 정렬 마진, 광섬유에서의 반사

특성 및 LD/PD chip의 특성, bonding 방법, 비용 등이 고려되어야 한다. 특히 광학 설계에 있어, LD에서 광섬유로, 또 광섬유에서 PD로의 광 결합을 위해 각 양단에서 요구되는 빔의 크기가 중요하다. 여기에서는 광결합 부분에서 빔의 크기를 조절하는 방법 및 결합효율을 높이기 위해 고려해야 할 점에 대해서 다루도록 하겠다.

광송신 모듈에서, 광원이 단일모드 광섬유의 도파모드인 LP01과 맞는 가우스 분포를 갖어야 이상적이거나, 장거리 전송에 이용되는 LD 광이 타원형이기 때문에 단일 모드 광섬유에서의 모드 크기와 LD 빔에 차이가 생기게 된다. 또한 굴절률 차에 의한 반사 손실이 있을 수 있으며 렌즈 자체의 거칠기나 수차와 같은 회절 효과로 인해 서로 결합효율이 감소된다. 광 결합부에서는 이러한 영향을 고려하여 효율을 높이는 광학 설계가 요구된다. 단일 모드의 경우 코어의 직경이 작고 LD에서 나오는 빔의 퍼짐도 크기 때문에, LD에서 나오는 출력 파형과 단일모드 광섬유의 출력 파형이 일치하지 않아, butt 결합일 경우 결합효율이 10% 이하이다. 따라서 효율을 높이기 위해 렌즈를 이용하거나〈그림 3〉 광섬유 끝



〈그림 3〉 lens system을 이용한 광학 설계



〈그림 4〉 변형된 Fiber를 이용한 광학 설계

에 직접 렌즈를 결합시키는 방법〈그림 4(a)〉, tapered fiber를 이용한 방법〈그림 4(b)〉 등이 이용되고 있다. 레이저 다이오드와 광섬유의 결합에 있어 또 하나의 문제점은 광섬유 단면에서의 프레넬 반사로 인해 레이저의 출력 특성과 안정성이 떨어지게 된다는 것이다. 이러한 반사를 줄이기 위해 광섬유 끝면을  $6^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 로 연마하여 사용하거나 무반사 코팅 처리를 한다. 이외에도 수차의 영향을 줄이기 위해 비구면 렌즈 등을 활용하고 있다. Lens system을 이용할 경우 결합효율은 50% 내외이고, GRIN 렌즈와 수차를 고려하여 비구면 렌즈를 함께 사용할 경우와 lensed fiber를 이용할 경우에는 90% 이상에 이르는 것으로 알려져 있다.

광섬유와 PD의 결합에는, PD의 수광면이 광섬유 코어의 단면적보다 매우 크기 때문에 butt 결합이 많이 이용되고 있고, 그 외에 광섬유를 연마하여 그 반사면을 이용하거나 광섬유 앞단에 렌즈를 달아 초점거리나 빔 크기를 조절하여 이용하기도 한다. 이 경우 PD chip에 수광되는 빔이 PD chip에 고르게 분포되어야 광전변환에 있어 좋은 효율을 갖게 된다. 10Gbps용 Photo-receiver Module로서, PD chip 자체에 microlens를 제작하여 flip chip bonding을 함으로써, 광학정렬에 있어서의 정렬 마진뿐만 아니라 전기적 특성까지 향상시킨 구조가 발표된 바 있

다<sup>[2]</sup>.

결합 효율에 영향을 주는 빔의 광학 특성 뿐만 아니라 반도체 제조공정에 따른 chip의 특성이나 구조, bonding 방법 등을 고려하여 광학설계가 이루어져야만 구성 가능한 구조에서 최적 결합효율을 갖도록 할 수 있다.

### 3. R/F설계

광통신의 고속화에 따라 광모듈설계에 있어 RF특성에 대한 중요성이 날로 높아지고 있다. 특히 RF수신단에 있어서 RF설계는 수신감도를 결정하는 주요요소로 자리잡게 되었다.

광신호는 PD를 통해 전기적인 신호로 바뀌게 된다. 이러한 전기신호는 그 신호가 매우 미약하여 증폭기를 통하여 그 신호의 크기를 증폭해야 할 필요성이 있다. 이때 사용되는 증폭기는 PD로부터 출력되는 약한 신호를 증폭하면서 잡음성분을 줄이는 역할이 필요하다. 이러한 증폭기로 사용되는 것이 트랜스임피던스 증폭기이다. 트랜스임피던스 증폭기의 역할은 위의 두 가지 역할과 함께 전류신호를 전압신호로 바꾸는 역할을 수행한다.

현재 상용화되어 있는 광수신모듈의 경우 위에서 설명한 역할을 수행하는 PD와 트랜스 임피던스 증폭기가 내장된 형태가 대부분이다. 이러한 모듈 제작시 주의해야 할 사항은 다음과 같다.

첫째, PD와 트랜스임피던스 증폭기 사이의 정합문제를 들 수 있다. PD와 트랜스임피던스간의 부정합은 때로 회로의 오실레이션을 가져올 수 있으며, 수신감도에도 큰 영향을 끼치게 된다. PD와 트랜스임피던스간의 정합은 일반 RF의 정합과 차이점을 갖게 되는데 그것은 RF정합의 경우 협대역 증폭이므로 신호선에 C와 L을 이용하여 정합을 이루는 반면, 광수신기에서는 디지털 신호의 신호무결성이 요구되므로 광대역 동작을 보장하기 위해 주로 저항을 사용하여 정합을 하게 된다.

둘째, 트랜스임피던스 증폭기와 출력단자간의 정합문제를 들 수 있다. 트랜스임피던스 증폭기를 거친 신호는 모듈의 외부회로와 원활한 신호 전달이 이루어져야 한다. 이러한 원활한 신호전달을 위해 트랜스임피던스 증폭기와 출력커넥터 사이에 정합이 절대적으로 필요하게 된다. 마이크로스트립 전송선이 외부회로 연결을 위해 SMA 커넥터와 연결될 때 구조체의 차이와 전자기파의 분포차에 의한 손실이 발생한다. 이를 줄이기 위한 방안으로 마이크로스트립라인의 도선을 출력단 근처에서 Tapper 형태의 Coplanar waveguide를 이용하여 전자기파를 일정부분 조밀하게 만들어 전달하는 방식이 널리 사용되고 있다

셋째, 패키지 자체의 구조적 특성에 의한 전자파 누설현상으로 인하여 출력단의 신호가 직류공급라인에 영향을 주어 전체적인 모듈의 안정도를 위협하는 문제를 들 수 있다. 이 문제는 누설정도가 심각한 직류공급라인에 커패시터와 인덕터를

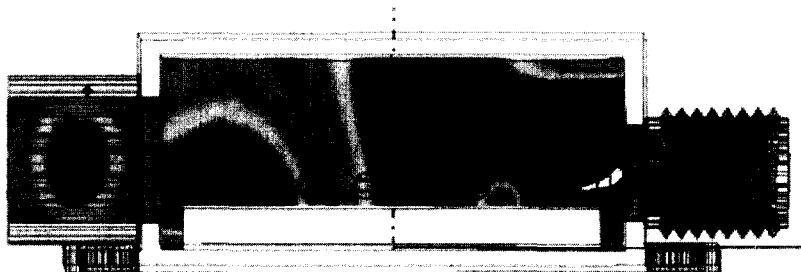
이용하여 제거하는 방법으로 해결할 수 있으나, 어느 라인이 출력단 신호에 의해 가장 크게 영향을 받는가를 알기 위해 우선 패키지 구조에 대한 EM 시뮬레이션을 통하여 최적의 배치를 알아내는 것이 중요하다 할 수 있다. 아래 <그림 5>는 3차원 패키지구조에서의 E-Field 분포 그래프와 그 등가모델을 나타낸 것이다.

위의 구조에서는 <그림 5>에서 볼 수 있듯이 E-field가 가장 왼쪽의 RF출력단으로 부터 가장 멀리 떨어진 편에 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 위의 결과는 <그림 6>의 Coupling 크기의 결과와 일치하는 것으로 패키지 구조에 따른 RF특성의 변화를 알 수 있다. 이렇듯 수신단의 RF특성은 각 소자간의 연결, 패키지의 구조 등에 의해 폭넓게 영향을 받으므로 고주파용 Butterfly 패키지 제작시에는 그 제작 초기부터 면밀한 해석 및 정확한 설계가 이루어져야 한다.

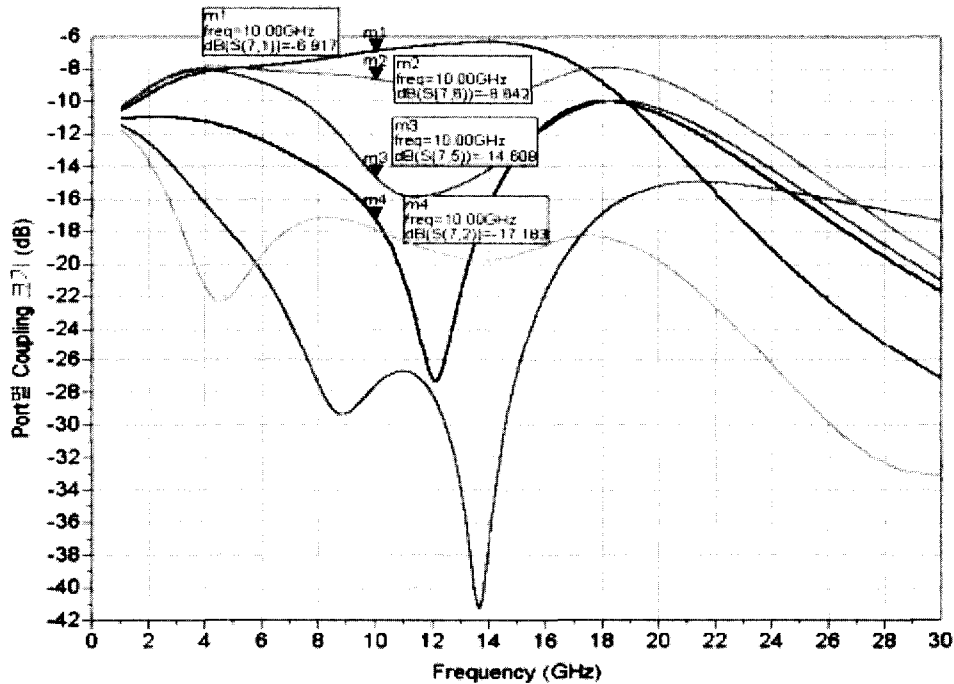
지금까지 언급한 수신단의 경우와는 달리, 10 Gbps 이상의 송신 단의 기술은 광신호 왜곡을 최소화하는 외부변조 방식이 채택되고 있다. 이러한 외부변조방식의 송신단 패키지 기술에서는 앞서 언급했던 수신 단의 기술과 유사하다.

#### 4. 패키지 열설계

Optoelectronic devices 및 System의 소형화, 집적화, High Speed되면서, 단위 면적당 발생 열량이 크게 증가함으로써 Thermal 문제가 성능 저하 및 안정성에도 크게 영향을 준다. 일반적으로 패키지는 외부에서 운용되거나 온도가 컨트롤되는 환경에서 운용된다. 패키지는 Temper-



<그림 5> Butterfly package에서의 E-Field분포



〈그림 6〉 Butterfly package에서 직류도선으로의 Coupling 크기

ature room에서 Thermal Reliability가 진행되는 동안 Thermal stress가 축적되지 않아야 하며 제 성능을 내야한다. 그러므로 설계의 주요 사항은 바닥면과 패키지 벽과의 좋은 열전도성을 확보하는 것이다. 특히 LD 작동 적정온도는 25°C 인데 LD작동에 따른 방열이 문제가 된다.

패키징내에 발생하는 열을 냉각하는 관련기술을 보면 Conduction, Convection, Material, Thermal grease, Turbulance 등을 적용하며, 시스템 냉각기술에 있어서는 핀, Impinging jet, Coolant, Heat pipe, TEC 등의 관련 기술 등을 적용한다.

모듈패키지에서는 주로 Heat sink와 TEC (Thermoelectric Cooler) 결합으로 해결하는데, 설계시에는 패키지와 Heat sink, TEC 사이의 열전도성을 고려해야하며, TEC를 없애는 방향으로 연구가 진행되고 있다.

Thermal Properties 중 열팽창계수와 열전도성을 고려하여 Substrate, 본딩재료, 본딩 방

법들을 설계를 해야 한다. 또한 설계자는 FEA (Finite element analysis) 소프트웨어를 사용하여 패키지에서 Heat sink로 흐르는 열의 증감을 예측해보고, 이론적인 FEA 방법과 경험적인 방법으로 검증을 명확히 해야한다.

또한 패키징을 하기 위해서 여러가지 요건들이 필요한데 기계적인 문제나 외부환경으로부터의 보호, 신호의 분배, 전원공급, 열적인 문제 등을 해결 해야한다. 이를 위한 Mechanical 설계는 대부분 Welding, Soldering, Epoxy 등이 환경 시험과 기계적 시험에서 만족스런 결과를 갖도록 하는 것이며, 패키지의 housing, substrate, epoxy, solder 등의 열팽창계수가 매칭성이 적합한 물질을 선택하여 설계하는 것이다. 또한 설계와 평가를 할 수 있는 3D CAD를 사용하여 모델링이 필요하다. CAD는 electrical, thermal, 기계적 stress 시뮬레이션과 유한요소법에 의한 분석, thermal modeling 등을 제공해야 기계적인 설계가 가능하다.

### Ⅲ. 광모듈 공정기술

#### 1. 패키지제조 공정

광모듈 패키지 제조공정에서 요구되는 기술은 높은 회수율과 생산성, 경박단소형 및 경제적인 패키지의 제조기술 등이다. 또한 재현성 있는 공정기술과 생산품의 신뢰성문제가 고려되고 있다. 이러한 요구사항을 만족시키기 위하여 새로운 재료개발 및 설계기술, 열문제 해결, 공정의 자동화 등에 대한 연구가 진행되고 있다. 광모듈 패키지의 대량생산이 어려운 점은 수동적인 Handling 과 조립공정, 독자적인 제조방법, 다수의 제조기술 및 공정수, 패키지과 재료의 표준규격의 부재 등이다. 따라서 생산성을 향상시키고 회수율을 높이기 위해서는 상기와 같은 문제점을 해결하여야 한다. 또 다른 패키지공정기술의 주요 현안 문제는 저가격의 패키징 제조이다. 이러한 저가격화의 일환으로 경박단소형의 광모듈패키지가 요구되고 있는 실정이다.

일반적으로 수행되고 있는 광송수신 모듈의 패키지 공정을 기술별로 크게 6단계로 나누면 다음과 같다.

- 1) 다이본딩 : LD/PD bare chip을 Heatsink나 Submount에 접착시키기 위한 공정
- 2) 와이어본딩 : LD/PD chip과 Heatsink 또는 Submount를 전기적으로 연결시키기 위한 공정
- 3) 렌즈장착 : YAG레이저에 의한 발광단면 또는 수광 표면에 광학 렌즈를 장착시키기 위한 공정
- 4) 패키징 : OSA(Optical sub assembly)를 패키지내에 실장시키기 위한 공정
- 5) 봉입 : 패키지를 질소 등의 불활성 가스로 치환해서 뚜껑을 닫는 공정
- 6) 파이버접속 : LD/PD chip 단면에 파이버를 정렬 및 고정하는 공정

본고에서는 광송수신모듈 공정 중에서 패키지의 성능 및 신뢰성에 가장 큰 영향을 미치는 본딩공정과 광정렬공정에 대하여 좀더 자세히 살펴

보기로 한다.

#### 2. 본딩기술

다이본딩은 LD/PD chip을 Submount 또는 Heatsink에 접착시키는 공정으로 본딩재료의 특성이 광모듈 패키지의 신뢰성에 대하여 매우 중요하다. 광모듈패키지의 다이본딩에서 요구하는 본딩의 특성은 낮은 온도(<450°C)에서 작업, 정확한 위치고정 및 본딩 후 적은 변위 등이다. 현재 이러한 요구에 부응하기 위하여 Au/Sn, In based, Sn/Pb 공정 솔더 등이 이용되고 있으며, 접착성을 향상시키기 위하여 Au plating 두께의 조정, 포밍가스(H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>), 진공솔더링 등에 대한 연구가 진행되고 있다. 특히 Au/Sn솔더는 높은 항복강도, 낮은 연신율, 내부식성, Au, Pt, Pd, Pd/Ag, Ni/Au 등과 순용성, Fluxless 조립성, 높은 용융점, 금속간 화합물의 느린 성장 등의 특성으로 광모듈 패키지 다이본딩에서 널리 사용되고 있다.

한편 솔더링의 신뢰성을 향상시키기 위하여 낮은 크립특성, 높은 피로강도, Au 금속간 화합물의 억제, Fluxless솔더링, 150~350°C 범위 내에서 솔더링 등이 요구되고 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위하여 Pb-free 솔더의 사용, Bi/Sn 솔더사용, 가스가 방출되지 않는 도전성수지, 선택적인 가열 등의 방법이 이용되고 있다.

다이본딩에서 요구되는 공정조건으로는 작은 본딩하중, 높은 가열속도, 포밍가스 분위기 등이다.

와이어본딩은 LD/PD bare chip이 Heatsink 또는 submount에 다이본딩된 후 이것을 전기적으로 접속시키는 수단 중의 하나이다. 와이어 본딩 공정을 간단하게 살펴보면, 먼저 와이어 본딩공정은 금선(Au wire)이 첫 번째 본딩부인 LD/PD 칩의 Au패드 위에 적절한 하중으로 접촉한다. 금구(Au ball)가 접촉한 후 캐필러리(Capillary)가 초음파 진동하고, 그때의 하중과 초음파 에너지로 금구와 Au패드 사이에 접합이 일어난다. 다음에 캐필러리가 적절한 궤적을 그리면서 두 번째 본딩 위치(Heatsink또는 submount)로 이동하고, 이 단계에서 적절한 금

선루프(loop)가 얻어지며 이 루프의 높이를 적당히 조절할 수 있다. 두 번째 본딩 위치에서도 적절한 하중과 초음파에너지로 본딩을 실시한다. 다음에 캐필러리가 상승하고 금선을 절단한다. 금선 끝에 전기토치로 방전을 실시하여 다시 새로운 금구를 형성시키면 1사이클의 와이어 본딩이 완료된다.

와이어 본딩기술에서 주요한 개발항목으로는 본딩패드 피치의 미세화, 초음파의 고주파화, 본딩와이어의 저루프화 및 본딩스피의 고속화 등이다. 그러나 초고주파의 광모듈 패키지에서는 본딩와이어에 의한 전기적인 기생성분으로 인해 신호가 왜곡되므로 광통신모듈 패키지에서는 다음에 설명하는 플립칩본딩과 같은 것으로 대체되어 가고 있는 실정이다.

플립칩 본딩은 1960년대 중반 IMB에 의해 C4(controlled collapse chip connection)라는 기술로 개발된 이래 다양한 공정기술이 개발되어 왔다<sup>[9]</sup>. 전형적인 플립칩본딩은 칩패드나 substrate에 솔더범프를 형성시켜 놓고 칩을 face-down형태로 기판상에 접합하여 전기적으로 연결하는 방법이다. 플립칩본딩의 특징으로는 (1) 칩상태로 직접기판에 장착할 수 있으므로 실장면적이 크게 줄어 들 수 있고 (2) 범프를 통해 열 방출이 용이하므로 칩의 back-side grinding 공정이 필요없어 공정수율을 높일 수 있으며, (3) 배선길이가 아주 짧아 배선에 의한 전기적인 기생인자가 적어 신호왜곡을 줄일 수 있는 것 등이다. 반면 단점으로는 높은 범핑가격, 저가의 기판확보곤란, 고가의 재료와 장비, 웨이퍼상태에서의 시험곤란 등의 문제가 있으나 관련산업의 발달로 플립칩 기술의 적용이 확대되고 있는 추세이다.

플립칩본딩 기술에서 중요한 UBM(Under Bump Metallurgy) 층을 설계하고 제작할 때의 고려해야할 사항은 다음과 같다. (1) 웨이퍼상의 칩패드 최종금속층이나 passivation층과의 접착력이 좋을 것 (2) 칩패드의 최종 금속층과 범프간에 전기저항이 낮을 것 (3) 솔더의 확산을

효과적으로 방지할 것 (4) UBM의 최종층은 솔더와 젖음성이 좋아야 할 것 등이다.

플립칩본딩에서 범프는 LD/PD 칩을 heat-sink나 기판에 접속하기 위한 전도성 돌기를 말하며, 모양은 솔더범프의 경우 리플로우 공정후 표면장력에 의해 ball모양이 형성되지만 Au stud 범프의 경우에는 도금형태인 사각기둥모양을 유지한다. 범프의 형성방법 중에서 광모듈 패키지에 적용되는 중요한 방법<sup>[4]</sup> 2가지에 대하여 설명한다.

- 1) Evaporation 법 : 금속마스크나 웨이퍼 위에 솔더마스크를 사용하여 솔더를 증착시킨다. 신뢰성이 높고 솔더증착 후 에칭공정이 필요 없지만 가격이 비싸고 Sn의 증착 효율이 낮아 Pb가 많이 함유된 고융점에만 적용할 수 있고 큰 범프직경과 미세피치에는 적용이 어렵다는 단점이 있다.
- 2) Au 스테드법 : 일본의 마쓰시타 회사에서 처음으로 개발한 것으로 널리 이용되고 있는 방법으로 기존의 볼 본더를 사용하여 Au 스테드 범프를 형성시킬 수 있는 기술이다. 초기의 설비투자비가 저렴하고 UBM 공정이 필요 없으므로 범핑가격이 저렴하다는 장점이 있지만 다핀의 경우에는 공정시간이 길기 때문에 가격적인 장점이 없어진다. 또한 플립칩 접속방식은 크게 3가지로 나눌 수 있다.

- 1) Soldering process를 사용한 플립칩본딩 기술 : 플럭스를 도포하고 리플로우하여 기판과 칩의 패드를 솔더로 접속한다. 플럭스를 세척한 후 언더필을 도포하고 경화시켜 기판과 칩의 신뢰성을 높인다.
- 2) 열초음파방식에 의한 Au-Au접착 플립칩본딩기술 : Stud 방법으로 Au범프를 형성한 후 패키지의 금패드와 열 초음파로 직접 접속하는 기술이다.
- 3) 접착제를 사용한 플립칩본딩기술 : 금범프를 형성한 후 이방성 도전성접착제(ACA) 등을 사용하여 접속하는 기술이다.



### 3. 정렬기술<sup>[5]</sup>

광송수신 모듈 실장 공정에 적용되는 정렬기술은 각 모듈 구조의 특징별로 세분화 될 수 있지만 부품의 조립 공정별로 아래와 같이 기본적으로 분류된다.

- 1) 렌즈실장 : OSA(Optical sub-assembly)에 광학계를 실장시 PD/LD 칩과 Focal length 및 Focal point 정렬
- 2) 윈도우 정렬 : OSA를 패키지 내부에 실장시 패키지 윈도우의 중심과 PD/LD의 수/발광면의 중심 정렬
- 3) 파이버 접속 : 파이버를 윈도우를 통해 PD/LD와 광축 정렬

각 공정상의 정렬 방식은 광출력 측정에 의한 능동 정렬방식 및 각 부품의 고정을 위한 정밀도 높은 Submount 제작에 의한 수동 정렬 방식을 Alignment tolerance를 고려하여 선택할 수 있다. 위의 광축 정렬 기술중에서 가장 높은 정밀도를 요구하는 것이 파이버 접속이다. 그 이유는 파이버 접속의 경우 최종단계에 실행되는 공정으로써 전단계에서 발생하는 모든 누적오차의 영향을 받기 때문이다. 따라서 설계단계에서 제시된 Alignment Tolerance는 실제 공정상에서는 훨씬 줄어들기 때문에 파이버의 접속은 가장 정밀도를 필요로 하는 공정이 된다.

접합기술은 정렬기술과 병행하여 수행되는 연구분야로써 신뢰성에 영향을 주는 요소이다. 접합제는 외부환경에 대한 변화폭이 작아야 하고, 내화학적, 내습성 및 기계적 강도, 수명 등이 중요한 평가 변수가 된다.

광통신부품의 접합제로 주로 사용되는 접합제로는 Epoxy와 Solder가 있고, 레이저 웰딩도 높은 공정능력 때문에 부품조립에 많이 응용되고 있다. 각 접합방식의 특징은 다음과 같다.

- 1) Epoxy : 렌즈와 파이버 패를 실장에 주로 응용되고, 경화방식에 따라 UV Epoxy와 Thermal epoxy로 나눌 수 있는데 UV epoxy의 경우 온도상승 등에 의한 접합부품의 열변형 문제가 없지만, 접합부품이 UV 빛이 투과할 수 있는 재질로 구성되어

야 하는 단점이 있고, Thermal epoxy의 경우 광투과성은 요구되지 않지만 온도변화에 의한 열변형문제가 발생하게 된다.

- 2) Soldering : 주로 Die bonding과 Hermetic sealing을 위해 사용된다. 공정시간이 Epoxy보다 짧은 장점이 있지만, 공급되는 열에 의한 열변형 현상이 발생한다.
- 3) Welding : 강도가 요구되는 접합부위에 응용되며, 반응속도가 빨라 생산성이 높은 가공 방식이다. 하지만 시스템 구성이 복잡하고 Welding 부위의 잔류응력 및 Crack등의 발생으로 고장을 발생시킬 수 있는 요소를 가지고 있다.

이상의 정렬 방식과 접합 방식은 송수신 모듈의 제작 공정시 구조와 요구되는 성능에 따라 선택되어야 한다. 또한 경제적인 측면에서 송수신 모듈의 제작은 초기 설계단계에서 이러한 공정들을 고려하여 최소 공정이 가능한 구조가 제안되어야 한다.

## IV. 결 론

본고에서는 최근 광통신 송수신모듈 패키징 기술에 대하여 살펴보았다.

패키징 기술은 크게 설계와 제조공정 분야로 구분할 수 있다. 설계분야에서는 광집적화 효율 향상을 위한 광학설계와 광신호를 전기적신호로 전달하는 R/F설계, 광통신소자에서 발생하는 열 방출을 위한 열설계 등이 주요 핵심 기술이다. 패키지 제조공정기술에서는 경박단소형 및 저가격형의 패키지 성능 및 신뢰성에 영향을 미치는 본딩 기술과 광정렬기술이 주요 연구분야이다.

특히 고효율의 광전달을 위해서는 서브마이크론의 고난도의 기술이 요구되므로 패키지의 생산성이나 수율이 크게 낮은 실정이다.

향후 재현성과 대량생산을 위한 패키징 기술 개발을 위하여 새로운 재료 개발, 공정의 자동화 등에 대한 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

## 참고 문헌

- (1) Bruce W. Hueners, "Equipment Developments and Issues for Assembly", Optoelectronics Packaging Workshop, Feb 2001.
- (2) Y. Oikawa, H. Kuwatsuka, T. Yamamoto, T. Ihara, H. Hamano, and T. Minami, "Packaging Technology for a 10-Gb/s Photoreceiver Module", J. Lightwave Tech. Vol. 12. 342-352 (1994)
- (3) Rao R. Tummala and Eugene J. Rymaszewski, Microelectronics packaging handbook, pp.361-391, Van Nostrand Reinhold, New York, 1989.
- (4) Charles L. Lassen, Global technical and commercial developments with flip chip technology, 1996 ECTC, pp.240-247, 1997.
- (5) ALAN R. MICKELSON, "Optoelectronic Packaging", JOHN WILEY & SONS, INC, 1997.

## 저자 소개



高在相

1997년 8월 전남대학교 대학원/산업공학/박사, 1985년 8월 전남대학교 경영대학원/경영학/석사, 1980년 2월 고려대학교/산업공학/학사, 1982년 3월~1991년

11월 : 한국전자통신연구원 선임연구원, 1991년 11월~1999년 12월 : 한국전자통신연구원 정보기술개발단 신뢰성공학연구실장, 1999년 1월~2000년 1월 : 한국전자통신연구원 교환전송기술연구소 책임연구원, 2000년 1월~2001년 4월 : 한국전자통신연구원 기획관리부 상용화전략실장, 2001년 4월~현재 : 한국전자통신연구원 광통신부품연구센터장, <주관심 분야 : 광통신시스템, 광통신부품, 신뢰성 기술>