

광소자 package 기술

俞炳權, 池 龍
西江大學校 電子工學科

I. 서론

장거리 통신이나 근거리 통신망을 구현할 때, 광통신은 광대역과 다중 채널 수요 능력의 잠재성을 지니고 있어 이를 효율적인 방법으로 극대화시키기 위해서는 광소자의 집적화 기술과 이를 제어하는 회로, 이들 간의 연결 및 정보를 전달시켜 주는 통로인 광섬유와의 접속기술이 개발되어야 하겠다. 또한, Gbps급 이상의 광통신 시스템을 구성하는데는 광소자 배열과 다발 형태의 광섬유와의 접속 연결 형태를 효율적이며 작은 부피로 자유롭게 시스템을 구성할 수 있는 구조가 필요하다.^{1,2)} 반도체 레이저 다이오드나 광다이오드 등과 같은 광소자들을 실제로 광통신 시스템이나 팩스 및 복사기 등의 광학 시스템에서 고속 신호 처리 기기로 사용하기 위해서는 각 소자와 소자 간을 서로 접속(coupling), 연결(interconnection)시키는 문제, 각 소자의 패키지 문제, 광선로와 광선로의 접속 문제 등을 고려해야 한다. 광시스템의 신뢰도, 성능, 접속 손실(coupling loss), 전체적인 비용 등을 실제로 광소자 패키지 부분이 결정짓고 있기 때문이다. 그럼에도 불구하고 이러한 광소자의 패키지는 광학적, 기계적, 전기적 문제들이 충분히 해결되지 못하고 있기 때문에 그다지 많은 관심을 받지 못하고 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서는, 신뢰성있고 강인한 광섬유의 부착과 광소자 패키지 기술이 요구된다. 특히 반도체 레이저, 광 다이오드, LiNbO₃기판을 이용한 광도파로 소자, 그리고 광신호 통로로서의 단일 모드 광섬유 등을 포함하고 있는 광 집적회로의 패키지 공정은 기판 크기, 부착되는 광섬유의 수, 집적도 단계 등의 문제로 인해 더 어려움이

많으며, 아직은 초기 단계의 연구들만이 보고되고 있다. 하지만 광시스템에서의 패키지 기술 개발은 광 집적회로를 기술적으로나 상업적으로 성공시킬 수 있는 기반이 되리라 예상된다.

본 고에서는 하나의 광시스템에서 다른 광시스템 사이에 광신호가 서로 전달될 때 거쳐야 되는 접속 요소들을 살펴 보고, 그 각각의 접속 요소들에서 발생하는 패키지 문제를 나누어서 고려해 보고자 한다. 즉 반도체 레이저 다이오드, 광 다이오드, 광도파로 소자, 그리고 광 집적소자 등의 개별 소자 패키지 기술 및 광소자와 단일 모드 광섬유와의 효율적인 광접속을 위한 정렬 고정 방법, 광섬유와의 접속, 연결 방법과 패키지를 구성하는 물질들에 대해 살펴 보고자 한다. 따라서 2장에서는 레이저 다이오드에서 도파로나 광섬유를 거쳐서 광소자 모듈 밖으로 나오게 하는 과정인 광소자 패키지 문제 및 광소자와 광섬유의 접속 문제를 다루고, 3장에서는 외부에서 두 개의 광시스템을 연결시키는 광섬유와 광섬유의 접속 연결 문제를, 4장에서는 집적도를 향상시키기 위해서 연구되고 있는 웨이퍼 상에서의 패키지 기술인 optical multichip module 패키지 기술에 대해서 살펴 본다.

II. 광소자와 광섬유와의 접속

1. 광소자 패키지

광소자를 성공적으로 패키징하기 위한 설계와 제작은 시간과 비용의 투자를 요구한다. 따라서 가능한 한 기존의 패키지 기술을 이용하여 이를 적용한다면 그 비용의 절감을 꾀할 수 있다. 광소자 제품은 패키

지의 변형을 요구하므로 광소자 패키지 문제는 광소자나 광전자 소자가 고정되고 광섬유와의 광접속이 이루어지는 작은 밀봉 형태의 패키지나 단위 모듈 형태의 패키지를 고안하여 사용하는 것으로 요약되어 질 수 있다.

한 가지 광소자 단위 모듈로서 생각할 수 있는 것은 GaAs 기판 위에 제조된 반도체 레이저와 같은 모듈이다. 반도체 레이저 칩은 방열 기능과 전극 기능을 지닌 금속판 위에 soldering 접합 방법으로 연결되는데, 반도체 레이저 모듈 제작의 문제는 자동적으로 레이저 다이오드와 같은 광소자와 광섬유를 정렬하는 문제와 패키지에 광섬유를 부착하여 밀봉 형태로 고정시키며, 이러한 광소자 패키지의 기능들이 부가적인 냉각기가 없더라도 $-25^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 의 온도 변화에도 기능에 변화가 없게 하는데 있다. 그 중 한가지 방법으로 $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ 크기를 지닌 반도체 레이저의 정밀한 위치 결정을 위해 die bonding 기술을 사용하기도 한다.¹ Du Pont사와 British Telecom은 전세계 시장으로 광소자 패키지를 공급하기 위해 단위 공정 모듈을 제안하여, 이들의 패키지를 개발했다.¹ 그림 1은 반도체 레이저 단위 모듈을 나타내고 있다.

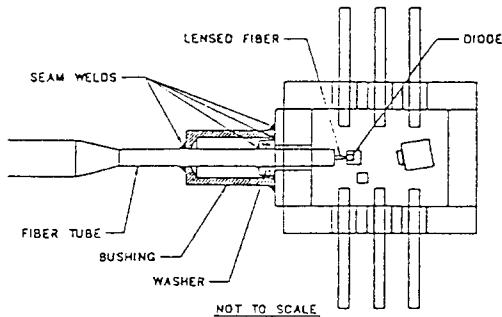


그림 1. 반도체 레이저 단위 모듈¹

두번째로 고려되는 광소자 모듈은 LiNbO_3 를 기판으로 하여 구성하는 광시스템 모듈이다.¹⁰ LiNbO_3 재질은 복굴절율의 특성을 가지며 pyroelectric 또는 piezoelectric의 성질을 지니고 있어 modulator나 광스위치 제작이 가능하여 광도파로로서 많이 쓰이고 있다.¹¹ LiNbO_3 소자의 패키지 경우 LiNbO_3 소자가 pyroelectric 그리고 piezoelectric의 성질을 지님으로 인해 주위의 열과 strain에 민감하기 때문에 LiNbO_3 소자의 표면에 발생하는 전하가 소자를 손상

시키는 예가 많은데^{12,13}, RF matching and terminating resistors를 함께 실장시켜 표면에 발생하는 전하를 방전시킴으로서 정전 방전(ESD)로 인한 소자의 손상을 줄이는 경우도 있다.¹⁵ $4\text{cm} \times 1\text{cm}$ 크기의 LiNbO_3 소자의 경우 정밀한 위치 결정을 위해서 die bonding 기술을 사용하는데, 이러한 소자들을 die bonding 하는 것은 단순히 소자가 크다는 것 이외에도 LiNbO_3 소자가 pyroelectric 그리고 piezoelectric의 성질을 지님으로 인해 주위의 열과 strain에 민감하기 때문이다.¹³

세번째로 패키징된 광소자 제품은 일정한 ESD level 아래에서는 오동작이 없도록 패키지를 구성하여야 한다.¹⁶ O/E 패키지를 구성할 때 단위 모듈 내에 실장되는 소자가 주위 온도 변화에 민감할 경우, 반드시 금속체의 물질로 밀봉시켜야 한다. 실장되는 소자 기판의 뒷면은 metallization 시켜 그 면이 금속 패키지에 접속되어 모든 전기적 연결의 접지 역할을 하도록 하여야 하고 금속 패키지 기판과 뚜껑의 접합 부위 사이는 전기적 보호를 위해 부가적인 연결이 필요하다. 이 때 soldering 방법은 금속 패키지 기판을 연결하는데 사용되고 laser welding 방법은 금속 패키지 뚜껑을 접합하고 봉합하는데 사용된다.

2. 광소자와 광섬유의 접속

광소자 패키지 공정에 의해서 실장된 광소자들이 외부와 연결되기 위해서는 광섬유와 효율적으로 접속이 이루어져야 한다. 따라서 광소자와 광섬유를 접속시키기 위해 필요한 모드 일치와 정렬 방법 및 고정 방법에 대해서 살펴보고자 한다. 광소자간의 접속 효율은 각 소자 내의 빛의 성질과 모드의 특성에 달려 있다.¹⁷ 일반적으로 요구되는 접속 효율을 이루기 위해 $\pm 1\mu\text{m}$ 내지 그 이하의 기계적 오차를 지녀야 하는데, 이와 같은 접속을 이루기 위해서는 광소자에 광섬유를 배열하고, 정렬하고, 고정시키는 문제를 고려해야 한다.¹⁸ 이는 광섬유 접속 방법의 선택, 광섬유와 광소자가 결합되는 모드 크기의 일치 문제, 그리고 물리적으로 효율적이고 신뢰성있게 정렬 고정을 형성하는 방법의 선택에 달려 있다.¹⁹

단일 광소자와 광소자 사이의 접속 효율은 η (= device가 받는 power / 총 빔 power)로 나타낼 수 있는데, 이는 광소자의 정렬 오차, 빔의 모드 크기 및 소자의 크기에 의존하는 함수로 볼 수 있다. 따라서 정렬 접속 효율은 $\eta = f(r, z, \theta, s, d)$ 으로 나타낼

수 있고, 여기에서 r 은 lateral offset, z 는 longitudinal offset, θ 는 angular offset, d 는 빛을 받는 소자 단면의 반지름, s 는 빔의 spot size를 의미한다.

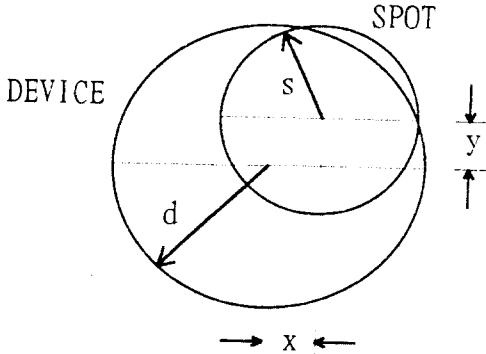


그림 2. 빔과 소자 중심 간의 변위 *

각각의 정렬 변위 r , z , θ 가 접속 효율에 미치는 영향을 살펴 보면, 아래와 같은 식으로 표현될 수 있다. Transverse offset r 은 그림 2와 같이 축과 수광소자의 축이 평행하지만 수직으로는 어긋남을 의미한다. *

$$\eta_r(r) = \frac{2 \exp(-2r^2/s^2)}{(\pi s^2)} \int_0^d \int_0^{2\pi} \exp\left[-\frac{2}{s^2}(\rho^2 - 2\rho r \cos \theta)\right] \rho d\rho d\theta$$

Longitudinal offset z 는 광원과 광소자 사이의 거리가 원래의 설계한 거리와 다를 때에 생기는 변위로 beam size의 분산이 야기되어 접속 효율을 감소시킨다.

$$\eta_z(z) = 1 - \exp\left\{-2d^2 / \left[s^2 + \left(\frac{\lambda}{\pi ns} \right)^2 z^2 \right]\right\}$$

Angular offset은 수광 소자 단면의 수직축이 빔의 진행 방향과 어긋남으로 인해 생기는 정렬 변위로 angular offset θ 에 대한 접속 효율 함수는 다음으로 주어진다.

$$\eta_\theta(\theta) = 4 / (s \lambda \pi) \int_0^d \operatorname{erf}\left\{ \sqrt{2 \cos \theta} \sqrt{d^2 - y^2} / s \right\} \exp\{-2y^2/s^2\} dy$$

일정한 손실 이하를 얻기 위한 정렬 오차 범위는 정렬 설계에 영향을 미치므로 각기의 경우에 대한 접속 효율을 살펴, 패키지 구성시 그 허용도를 살펴야

한다. 따라서 모든 접속 연결 형태에서 접속 손실은 서로 표현될 수 있으며, 광소자와 광섬유 접속의 경우는 1dB 미만으로, 광섬유간의 접속은 0.3dB 미만을 요구하고 있다.

1) 모드의 일치

단일 모드의 사용은 단일 모드 소자에서 다른 단일 모드 소자로의 효율적인 빛의 결합을 위한 정밀한 기술을 요구한다. ** 이는 광통신 시스템에서 요구되는 접속 기술이 광신호의 매개체 역할을 하는 단일 모드 광섬유와 반도체 레이저, 광 다이오드, 그리고 modulator, 스위칭 등의 역할을 수행하는 광도파로 소자, 광집적 소자 등과의 광접속 효율 문제이기 때문이다. 그 가운데 많이 언급되는 단일 모드 접속 문제는 단일 모드 광섬유와 반도체 레이저와의 접속이다.

** 중심축에서 수직으로 잘려진 광섬유 끝단과 레이저 반사면과의 butt-coupling을 할 경우에는 10% 내지 20%의 효율을 나타내는데, 이는 두 소자간의 모드 불일치 때문이다. 따라서 이에 대한 해결은 lens-ended fiber나 graded-index rod lenses, ball lenses 등을 광섬유와 반도체 레이저 사이에 배열하여 전달되는 빛을 변형시켜 더 나은 효율을 지니는 접속을 유도하는 것이다. *** 이 가운데 lens-ended fiber가 널리 사용되는데, 그 이유는 광섬유 코어 제조시에 렌즈가 형성되므로 레이저와의 정렬만 유지하면 약 50%의 높은 접속 효율을 얻을 수 있기 때문이다. *** 하지만 빛의 변형은 단일 모드의 변형을 가져오므로 단일 모드 소자를 접속할 때는 빛의 변형을 통한 모드 접속은 바람직하지 않은 것으로 나타나고 있다. 광섬유와 광도파로를 서로 접속할 때는 butt-coupling만으로 좋은 결과를 얻어내고 있다.

2) 정렬 방법

단일 모드 소자의 접속 문제에 있어서 중요한 면은 정확한 정렬이다. 이는 고온 상태, 또는 온도 변화에 따라 원하는 신뢰성을 유지할 수 있는 정렬을 의미한다. 일반적으로 lens-ended fiber와 반도체 레이저 사이의 접속의 경우 최적의 정렬 위치에서 약 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 정도의 수평 변위는 1dB의 효율 감소를 초래한다. Flat-ended fiber와 LiNbO₃ 소자 사이일 경우는 $\pm 1 \mu\text{m}$ 정도의 변위가 이에 해당한다. **** 많은 광섬유를 광소자에 동시에 다발로 접속시킬 때는 조립과정의 복잡함을 감소시키기 위해서, 결정 방향성을 이용한 silicon의 비등방성 식각을 통해 형성된 고정밀 V-groove 배열 등의 수동 정렬 기구를 많이 사

용하고 있다. ¹⁵ 이러한 V-groove 배열은 250 μ m 내지 700 μ m의 일정한 간격으로 배열된 V-groove에 광섬유를 배열하고 고정시켜서 그 배열의 최적 위치를 쉽게 결정한다. 광섬유 조립과정 동안은 광신호 전달의 변화를 관찰하고 최적 위치는 UV-curing epoxy나 solder, laser welding등 공정 과정을 통해 정확하게 유지시킨다.

다른 정렬 고정 방법으로는 능동 정렬 공정 과정을 사용할 수 있는데 ¹⁶, 이러한 공정은 그림 3과 같이 개개의 소자를 정렬 조립할 때 쓰이는 기술로서, 정렬될 소자를 동작 상태에 있게 한 후, 정렬 위치를 조정하여 접속 효율이 최대치를 나타내는 위치에서 소자를 고정시켜 조립하는 방법이다. 이러한 형태의 고정방법은 대개 컴퓨터 제어 상태 아래에서 자동적으로 행해지게 되는데, 소자들을 정렬하고 고정시킬 때 각 소자를 동작시켜야 하므로 정렬의 복잡함이 증가하고 장비의 비용과 jig의 증가를 가져오게 하며, 고정방법의 기술 또한 요구하게 된다.

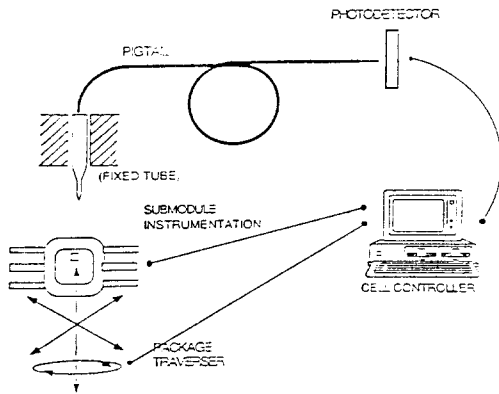


그림 3. 능동 광섬유 정렬 시스템 ¹

따라서 외부 장비의 도움 없이 정렬이 이루어지도록

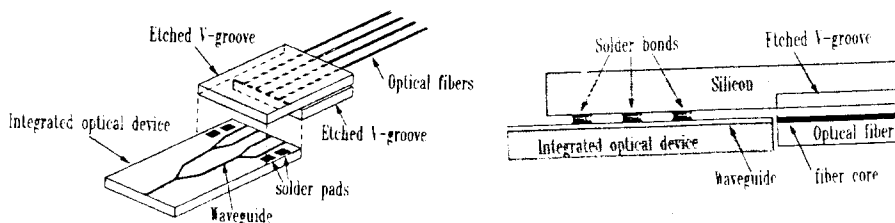


그림 4. 자기 정렬을 이용한 광도파로와 광섬유의 접속

록 하는 자기 정렬 (self-aligned) 기술 개발이 필요한데, 이는 정렬시에 소자의 동작을 요구하는 능동정렬 공정대신 정렬되는 소자에 기계적인 정렬 표시와 함께 광섬유에도 보완적인 표시를 해줌으로서 이루어지게 할 수 있다. ¹⁵ 그림 4에 자기 정렬 방법을 이용한 광도파로와 광섬유의 접속 방법이 나와 있다. 이외의 방법으로는 광섬유와 광도파로 소자의 정렬을 위해, 광섬유와 도파로의 축 정렬을 기계적인 조정 jig를 사용하여 고풍력 접속 효율을 조정하는 방법 ¹⁶, taper 모양을 지닌 groove를 사용하여 광도파로와 광섬유가 동일한 축을 유지하도록 하는 방법 ¹⁸, 10 μ m의 광섬유와 동일한 크기를 갖는 high-silica 도파로를 접속시키는 방법이 있다. ¹⁹

3) 고정 방법

정렬된 상태를 어떤 방법으로 고정시키는가 하는 선택은 공정 시간 동안에 일어날 수 있는 흔들림을 얼마나 안정시킬 수 있는나하는 공정시간에 따른 소자들의 안정도에 그 비중을 두고 있다. 일반적으로 선택되는 고정방법으로는 에폭시 등의 접착제 사용, 솔더 방법 이용 (soldering), 그리고 레이저 용접 (laser welding)방법을 들 수 있다. 고정기술의 선택은 신뢰도, 사용되는 패키지 물질, 다음 단계의 패키지 공정 과정의 온도 변화와 능동 정렬과 자동 조립 과정에 포함되는 여러가지 제한적 요소 등에 따라 다르다. ²⁰ 또한 광섬유 고정 기술은 광섬유의 준비 상태에 따라 다른데, 에폭시를 사용할 경우 광섬유는 bare상태로 준비되어야 에폭시와 광섬유의 접착이 가능하고, soldering 기술을 이용할 경우는 광섬유에 금속막을 입혀야 접합이 가능해지며, laser welding 방법을 적용할 경우에는 광섬유는 금속 지지봉에 봉합되어야 광섬유와 광소자의 접속을 가능하게 한다. 따라서, 안정된 광섬유의 고정을 위해서는 전체적인 패키지 공정을 고려해야 하고, 광섬유 접속의 열적 신뢰도를 높이기 위해 열팽창성의 영향이 적도록 패

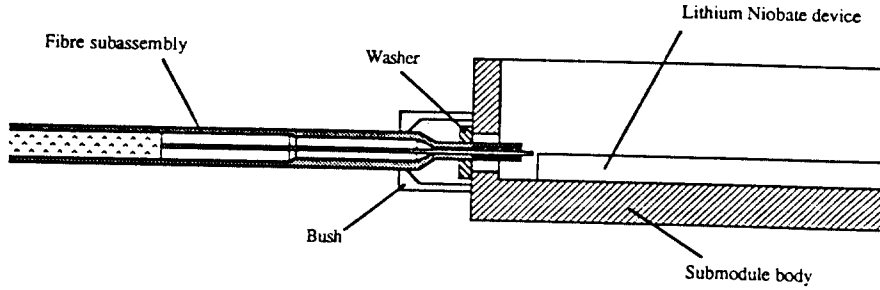


그림 5. 레이저 용접을 이용한 광섬유의 고정을 나타내는 패키지 단면

키지의 크기를 더 작게 만드는 것도 중요하다

에폭시 계열의 접착제는 그 적용이 용이한 이유로 오랜 기간 동안 광섬유 부착에 사용되어 왔다. 현재 UV-curable 접착제가 많이 쓰여지고 있는데, 그것은 광섬유의 정렬이 이루어진 후, 정렬 상태를 유지하며 자외선에 의한 에폭시의 경화 시간이 1초 이내로서 빠르기 때문이다. 그러나 UV 접착제는 낮은 glass transition 온도 T_g 를 지니고 있어서 접합된 곳이 60~70℃ 이상이 되면 안정성에 문제가 생긴다. 다중 모드 광섬유의 부착의 경우, 접착제가 적절히 사용될 수 있었지만, 단일 모드 광섬유의 경우 더 정밀한 정렬오차를 요구하므로 온도가 높아질 경우 신뢰성의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 새로운 접착 물질이 개발되거나, 새로운 bonding 방식이 적용되어야 하는데, 유용한 접근 방식으로 fast thermal cure adhesive, laser welding, electrostatic bonding 등을 들 수 있다.

광섬유 고정을 위해 솔더방법(soldering method)을 사용할 경우 광섬유는 먼저 적절한 solder 물질로 metallization 되어야 한다. 주로 사용되는 물질은 Cr-Cu-Au 합금이며, 이외에 높은 온도에 적용되는 Au-Sn, Au-Ge solder, 낮은 eutectic 온도를 지닌 Sn-Pb, Pb-In, Sn-Ag 등의 eutectic 합금 물질이 사용된다. 높은 온도에서 용융되는 solder 물질은 연속되는 패키지 조립 공정 과정에서 넓은 범위의 온도에서 작업할 수 있지만, solder 접합 부분에서의 변형이 일어날 가능성이 있고, soft-solder의 경우 시간의 경과에 따라 균열에 의한 파괴의 위험이 뒤따르는 단점이 있다.¹⁾ 만일 능동정렬 방법으로 광섬유 정렬을 하고자 한다면, 패키징될 소자는 solder 온도에서 동작이 가능하여야 한다.

레이저 용접(laser welding)의 장점으로는 깨끗한

공정이 가능하다는 것 이외에 솔더 방법과는 달리 부가적인 물질이나 용융을 위한 열의 확산이 필요하지 않다는 것이다.¹⁾ 또한 공정 후의 재료 구조에서 solder 균열 같은 문제를 발생하지 않고 안정성이 높으며, 신속히 국부적으로 레이저 필스를 가함으로서 열에 민감한 소자의 손상을 줄일 수 있기 때문이다. 솔더의 경우 소자 전체에 균일하게 열을 가함으로써 온도 경사에 의한 소자의 변형이 적으나 레이저 용접의 경우 정렬된 부품이 국부적 변위를 유발시킬 가능성이 있어서, 이러한 변형을 없애기 위해서는 레이저 빔의 크기를 500 μ m 이하로 동작시켜야 한다.

그림 5에 레이저 용접을 이용한 모듈 패키지의 한 가지 예를 나타내고 있다. 광도파로가 실장된 submodule에, 광섬유가 삽입된 금속관이 구멍을 통해 들어가고 능동 정렬 과정을 통한 접속이 광섬유와 광도파로 사이에 이루어진다. 그 후 washer 부분이 광섬유 관이 들어간 구멍에 걸쳐지고, 금속관과 레이저 용접이 되어 광섬유와 광도파로가 접속 고정된다. 레이저 용접을 할 경우, 광섬유는 금속 지지봉에 밀봉된다.¹⁾ 이 금속 지지봉은 stainless steel을 주로 사용하며 일반적으로 300 μ m의 spot size, 수 joules의 에너지를 지닌 Nd:YAG laser를 이용하여 용접되는데, 용접은 국부적이기 때문에 solder를 사용할 때와 같은 균열문제는 발생하지 않는다.

III. 광섬유와 광섬유간의 접속

광소자 모듈과 모듈간을 연결하는 데는 주로 광섬유들이 쓰이고 있다. 광섬유의 core 지름은 다중 모드일 경우 50 μ m, 단일 모드일 경우 10 μ m 내외로, 그 크

기의 제약성은 일반적인 구리 전선과는 달리, 광섬유를 서로 접속시킬 때, 상당히 정교한 접속 기술을 필요로 하고 있다. 광섬유간을 접속하는 방법으로는 광섬유의 단면처리, 정렬, 고정 과정에 따라 용융 접속 방법과 기계식 접속 방법을 들 수 있다.

1. 용융 접속 방법 (fusion method)

용융 접속 방법은 상처내고 자르는(score-and-break)방법에 의한 광섬유의 단면 처리 과정, micropositioner에 의한 정밀한 정렬 과정, 고정을 위해서 광섬유를 용융시키는 과정 등, 이러한 세 가지 과정을 독립적으로 수행함으로써 접속이 이루어진다. 이 가운데 한가지 과정에서의 실수 또는 주위 환경적인 요소의 변화는 접속 손실을 초래한다. 이러한 이유로 자동적인 장비가 개발되어 왔는데, 이러한 자동적 장비의 기능에는 광섬유의 정렬을 간소화하기 위해 시각적 정렬 부분과, 광섬유의 끝단을 등갈래하고 용융시의 기포 형성을 방지하기 위해 낮은 에너지의 arc 방전을 사용하는 pre-fusion 공정, 용융 접합 부위가 가늘어지는 현상을 방지하기 위해 광섬유의 이동을 제어하는 기능 등을 포함하고 있다.²¹ 용융 접속 방법으로 접속된 광섬유의 인장력은 용융하기전 인장력의 약 60% 정도를 나타내는데, 이는 가열과정에서의 표면의 흠의 증가, 화학적 혼합 물질의 변화에 의한 응력, 그리고 광섬유를 다루는 문제 등의 요인에 의한 광섬유 표면의 손상 때문이다.²² 따라서 용융 접속한 후, 접속 부위의 물리적인 손상을 피하기 위해서는 광섬유가 인장력을 받지 않도록 이를 보호하는 패키지의 구성이 필요하다. 전체적인 용융 접속 공정의 어려움에도 불구하고 이 방법은 단섬의 광섬유를 항구적으로 접속시키는 확실한 방법 중의 하나이며, 단일 모드 광섬유를 접속할 경우, 0.1~0.5dB의 접속 손실과 단위 접속당 10~40분의 접속 공정 시간이 소요된다.²²

2. 기계식 접속 방법

기계식 접속 방법은 기본적인 광섬유의 접속 과정을 묶어서 단순화시키기 위해 고안되었는데 이는 낮은 접속 손실, 신속한 접속 시간과 안전성을 지니며, 숙련된 전문가에 의해 접속될 때나 초심자에 의해서 접속될 때도 일정하게 그 기능과 특성을 나타내는 장점이 있다. 그 기술 가운데 하나인 loose tube splice 방법은, 정사각형의 단면을 지니고 있는 loose

fitting tube를 이용하여 광섬유를 접속시키는 방법이다. 상처내고 자르기에 의해 준비된 두 개의 광섬유 단면을 index-matching 물질이 포함되어 있는 loose tube의 양쪽에서 중간까지 밀어 넣으면, 두 단면은 tube내에서 정렬을 이루게 된다. Rotary splice방법은 AT&T에서 구현된 방법으로 10⁴개 이상의 단일 모드 광섬유를 접속시키는데 적용되었으며, 접속 손실은 0.03dB를 나타내었고, 주위 환경이나 사용자의 기능에 영향을 받지 않음을 알 수 있었다.²³

그림 6은 Si V-groove 칩을 이용한 다섬의 광섬유 접속 방법으로 정밀 가공이 가능한 Si 웨이퍼 위에, 식각 공정을 이용하여, 광섬유를 부착/고정할 수 있는 정교한 V-groove 배열을 만들어 submicron 이하의 오차가 요구되는 다섬의 단일 모드 광섬유 접속을 가능하게 한다.^{28,29,34} 접속된 광섬유는 OTDR (optical time domain reflectometer)을 이용하여 시험되고 index matching을 통해 다섬의 광섬유가 10분 이내의 짧은 시간 내에 접속된다. Transverse offset에 기인하는 접속 손실은 정교한 Si chip의 제작과 광섬유 제조기술의 발전으로 평균 손실은 0.3~0.4dB를 보인다.^{23,31}

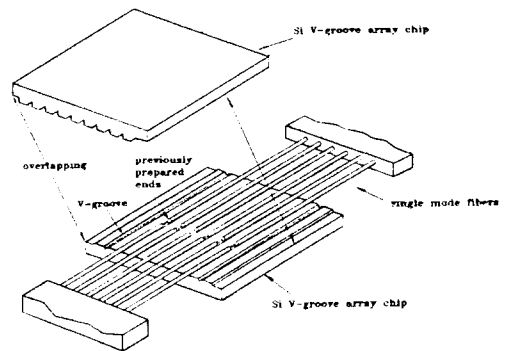


그림 6. Si V-groove 칩을 이용한 다섬의 광섬유 기계식 접속 방법

IV. Optical Multi-Chip Module

한 웨이퍼에서 광소자들끼리 광접속시켜 광 다중칩

모듈(OMCM)을 구성하는 것은 넓은 파장 영역에서 사용과 noise나 crosstalk 문제를 제거시키고 power 손실을 줄이며 큰 fanout 능력을 제시하여 광소자 집적도를 증가시켜 준다는 장점을 지니기 때문에 중요한 연구 대상이 되고 있다.¹³⁾ 이 OMCM을 구현하는 것은 단일 웨이퍼 위에 광전소자와 전자 소자를 함께 집적시키는 광집적회로(OEIC)를 구현하는 것으로서, 광소자 배열과 그것을 제어, 구동시키는 회로를 각각 하나의 웨이퍼 위에 구현한 후 각각을 연결하는 방식이다. 이 때 광섬유와 광소자들을 접속 연결시키는 방법으로 자유 공간에서의 연결과 광섬유를 이용한 연결, 광도파로를 이용한 연결 등을 들 수 있다. 하지만 자유 공간에서의 연결은 정렬 문제가 매우 힘들기 때문에 아직 초기 단계이고, 주로 광섬유나 광도파로를 이용하여 연결시키는 구조가 연구되고 있다.²¹⁾ Si wafer를 기판으로 사용하는 이유는 Si wafer의 강한 기계적 성질²²⁾, 좋은 열전달 특성 및 기존의 공정 기술 발달, 낮은 공정 비용 등이 제시되며, Si의 결정 방향성을 이용하여 광섬유와 같은 소자를 쉽게 정렬할 수 있는 고정밀 V-groove를 동시에 형성할 수 있는 장점을 지니고 있기 때문이다.^{23) 24)} 그림 7은 OMCM 예를 보여주고 있다. 여기서는 광소자 배열과 그 구동 회로가 Si 웨이퍼에 실장되어 solder pattern을 통해 광섬유와의 정밀한 정렬과 고정이 이루어지게 한다. SiO₂-TiO₂이나 polymer²⁵⁾ 광도파로를 이용한 모듈 구성 방법은 양방향성 특성을 이용하여 transmitter와 receiver device를 동시에 연결시켜 사용할 수 있는 장점이 있어 2 Gbps의 데이터 전송 모듈에 쓰이기도 한다.¹

단일 OMCM에 여러 개의 fiber를 접속하는 방법으로, lateral coupling방법은 여러 개의 입출력 광섬유를 평면적으로 수용하도록 하기 위해 제안된 방법으로 광소자 array와 광섬유와의 정렬과 고정 접속에 있어, 회전 정렬 자유도를 간소화 하기 위해 주로 Si V-groove array칩을 이용한다.^{11) 26) 27)} 다른 방법으로 vertical coupling 방법은 표면 발광 레이저 다이오드 등과 같은 광소자 구조에 적용될 수 있다.²⁸⁾ 광소자 또는 광집적소자의 기판에 cavity를 형성시켜 그 곳에 광섬유를 삽입시키는 방법으로 여러가지 접속 방법 가운데 단위 면적당 입출력 단자 수가 가장 큰 장점이 있다. 그러나 이 방법에 대한 packaging 공정 기술은 정렬 허용 오차의 문제, 광집적소자의 기판에 cavity를 형성하는 문제, 그리고 광섬유를 고정시키는 문제가 남아 있어 앞으로의 지속적인 연구 과제로 남아 있다.

V. 결론

지금까지 광통신 분야에서 광소자와 광전자 소자들의 사용이 증가함에 따라 관심이 되고 있는 광소자 패키지 구성 방법에 대해 살펴 보았다. 해결해야 하는 문제들은 광소자 자체의 패키지, 광소자들과 광섬유와의 정밀한 정렬과 고정을 이루는 패키지 기술들, 그리고 집적화에 따라 발생하는 OMCM 내에서의 광신호 연결 접속 문제들이다. 본 고에서는 각각의 문제를 패키지 공정 관점에서 살펴보았다. 결과적으로 대용량 정보 처리 광시스템을 구현하기 위해서는 광소자들의 다양성을 포괄하는 단위 광소자 패키지 기술, 그리고 광소자의 사용을 단순화하여, 소자를 제어하거나 연결해 주는 회로를 하나의 광집적소자로 개발하는 기술이 개발되어야 하겠다.

參 考 文 獻

- [1] P. Cinato and K.C. Young, "Optical Interconnections within Multichip Modules," *Optical Engineering*, vol. 32, no.4, pp. 852-860, 1993.

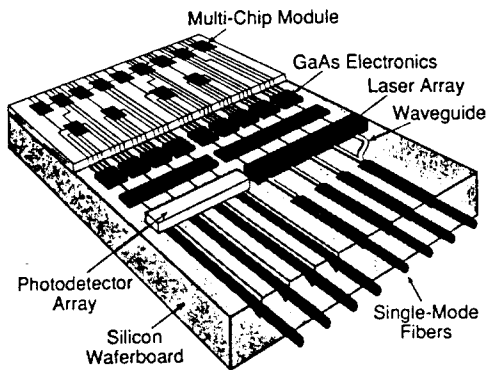



그림 7. Si 웨이퍼에 형성된 OMCM²¹⁾

- [2] M.R. Matthews, B.M. Macdonald, and K.R. Preston, "Optical Components - The New Challenge in Packaging," *IEEE Trans. on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, vol.13, no.4, pp.798-806, 1990.
- [3] L. Thylen, "Integrated Optics in LiNbO₃: Recent Development in Devices for Telecommunications," *J. Lightwave Technol.*, vol.6, no.6, pp.847-861, 1988.
- [4] D.S. Barger, "An Automated Fiber Alignment, Fixing, and Hermetic Sealing System," *Optoelectronic Materials, Devices, Packaging, and Interconnects II*, SPIE, vol.994, pp.11-17, 1988.
- [5] K.R. Preston, et al., "High Performance Hermetic Package for LiNbO₃ Electro-Optic Waveguide Devices," *Optoelectronic Materials, Devices, Packaging, and Interconnects II*, SPIE, vol.994, pp.25-32, 1988.
- [6] E.M. Foster and R.J. Wolf, "ESD Packaging Requirements for an Opto-Electronic Receiver Module," *IEEE Trans. on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, vol.13, no.4, pp.787-790, 1990.
- [7] E.J. Murphy, et al., "Permanent Attachment of Single-Mode Fiber Arrays to Waveguides," *J. Lightwave Technol.*, vol.LT-3, pp.795-1985, 1985.
- [8] A.K. Ghosh and R.S. Beech, "Analysis of Alignment in Optical Interconnection System," *International conference on advances in interconnection and packaging*, SPIE, vol. 1389 II1990.
- [9] H. Kuwahara, M. Sasaki, and N. Tokoyo, "Efficient Coupling from Semiconductor Lasers into Single-Mode Fibers with Tapered Hemispherical Ends," *Appl. Opt.*, vol.19, no.15, pp. 2578-2583, 1980.
- [10] P.D. Bear, "Microlenses for Coupling Single-Mode Fibers to Single-Mode Thin-Film Waveguides," *Applied Optics*, vol.19, no.17, pp.2906-2909, 1980.
- [11] M.S. Cohen, et al., "Packaging of High-Density Fiber/Laser Modules Using Passive Alignment Techniques," *IEEE Trans. on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, vol.15, no.6, pp.944-955, 1992.
- [12] E.J. Murphy, "Fiber Attachment for Guided Wave Devices," *J. Lightwave Technol.*, vol.6, no.6, pp.862-871, 1988.
- [13] K.E. Bean, "Anisotropic Etching of Silicon," *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol.ED-25, no.10, pp.1185-1193, 1978.
- [14] K.P. Jackson, et al., "Optical Fiber Coupling Application for Multi-Channel Laser and Detector Arrays," *Optoelectronic Materials, Devices, Packaging, and Interconnects II*, SPIE, vol.994, pp.40-47, 1988.
- [15] M.J. Wave and C. Edge, "Self-Aligned Flip-Chip Assembly of Photonic Devices with Electrical and Optical Connections," *IEEE Trans. on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, vol.13, no.4, pp.780-786, 1990.
- [16] J. Guttman, O. Krumphoiz, and E. Pfeiffer, "Optical Fiber Stripline Coupler," *Applied Optics*, vol.14, no.5, pp.1225-1227, 1975.
- [17] J. Noda, O. Mikami, M. Minakata, and M. Fukuma, "Single-Mode Optical-Waveguide fiber coupler," *Applied Optics*, vol.17, no.13, pp.2092-2096, 1978.
- [18] C.H. Bulmer, S.K. Sheem, R.P. Moeller, and W.K. Burns, "Fabrication of Flip-Chip Optical Couplers between Single-Mode Fibers and LiNbO₃

- Channel Waveguides." *IEEE Trans. on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, vol.CHMT-4, pp.350-355, 1981.
- [19] Y. Yamada, M. Kawachi, M. Yasu, and M. Kobayashi, "High-Silica Multimode Channel Waveguide Structure for Minimizing Fiber-Waveguide-Fiber Coupling Loss." *J. Lightwave Technol.*, vol.LT-4, no.3, pp.277-282, 1986.
- [20] O. Mitomi, T. nozawa, and K. Kawano, "Effects of Solder Creep on Optical Component Reliability." *IEEE Trans. on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, vol.CHMT-9, no.3, pp.265-2271, 1986.
- [21] A.H. Cherin, *An Introduction to Optical Fibers*, McGraw-Hill, 1983.
- [22] C.M. Miller, "Mechanical Optical Fiber Splices." *J. Lightwave Technol.*, vol. LT-4, no.8, pp 1228-1231, 1986.
- [23] C.M. Miller, *Optical Fiber Splices and Connectors*, Marcel Dekker Inc., New York, 1986.
- [24] C.A. Armiento, et al., "Gigabit Transmitter Array Modules on Silicon Waferboard." *IEEE Trans. on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, vol.15, no.6, pp.1072-1079, 1992.
- [25] K.E. Peterson, "Silicon as a Mechanical Material." *Proc. of the IEEE*, vol.70, no.5, pp.420-457, 1982.
- [26] T. Hayashi, "An Innovative Bonding Technique for Optical Chips Using Solder Bumps That Eliminate Chip Positioning Adjustments." *IEEE Trans. on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, vol.15, no. 2, pp.225-230, 1992.
- [27] R.W. Ade and E.R. Fossum, "Vertical Fiber Coupling for High-Density Optical Interconnection." *Optoelectronic Materials, Devices, Packaging, and Interconnects II*, SPIE vol.994, pp.33-39, 1988.
- [28] C.M. Miller, "Fiber-Optic Array Spacing with Etched Silicon Chips." *B. S.T.Jour.*, vol.57, no.1, pp. 75-89, 1978.
- [29] C.M. Schroeder, "Accurate Silicon Spacer Chips for An Optical-fiber cable connector." *B.S.T.Jour.*, vol.57, no.1, pp. 91-97, 1978.
- [30] C.M. Oslen, "System Experiment with Multimode Waveguides and Fibers for Applications in Computer Interconnections." *J. Lightwave Technol.*, vol.9, no.12, pp. 1742-1746, 1991.
- [31] D.B. Lee, "An Isotropic Etching of Silicon." *J. Appl. Phys.*, vol.40, no.11, pp.4569-4574, 1969.
- [32] D H. Hartman, et al., "An Effective Lateral Fiber-Optic Electronic Coupling and Packaging Technique Suitable for VHSIC Applications." *Jour.of Lightwave Technol.*, vol.LT-4, no.1, pp. 73-82, 1986.
- [33] E. Bassous, "Fabrication of Novel Three-Dimensional Micro-Structures by the Anisotropic Etching of (100) and (110) Silicon." *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol.ED-25, no.10, pp.1178-1185, 1978.
- [34] J.E. Watson, M.A. Milbrodt, and T.C. Rice, "A Polarization- Independent 1x16 Guided-Wave Optical Switch Integrated on Lithium Niobate." *J. Lightwave Technol.*, vol.LT-4, no.11, pp.1717-1721, 1986.
- [35] K.S. Chiang, "Effective-Index Method for the Analysis of Optical Waveguide Couplers and Arrays: an Asymptotic." *J. Lightwave Technol.*, vol.9, no.1, pp.62-72, 1991.
- [36] L.A. Reith, et al., "Single-Mode Fiber Packaging for Semiconductor Optical Devices." *IEEE Trans. on Components,*

- Hybrids, and Manufacturing Technology*, vol.13, no.4, pp.791-797, 1990.
- [37] Fukuma and J. Noda, "Optical Properties of Titanium-Diffused LiNbO₃ Strip Waveguides and Their Coupling to a Fiber Characteristics." *Applied Optics*, vol.19, no.4, pp.591-597, 1980.
- [38] N. Mekada, et al., "Practical Method of Waveguide-to-Fiber Connection: Direct Prepagation of Waveguide Endface by Cutting Machine and Reinforcement using Ruby Beads." *Applied Optics*, vol.29, no.34, pp.5096-5102, 1990.
- [39] R.A. Nordin, A.F.J. Levi, and R.A. Logan, "A System Perspective on Digital Interconnection Technology." *J. Lightwave Technol.*, vol.10, no.6, pp. 811-827, 1992.
- [40] R.C. Alferness, V.R. Ramaswamy, and L.L. Buhl, "Efficient Single-Mode Fiber to Titanium Diffused Lithium Niobate Waveguide Coupling for $\lambda = 1.32$ μm ." *IEEE J. Quantum Electronics*, vol. QE-10, pp.1807-1813, 1982.
- [41] R. Selvaraj and J.F. McDonald, "Integrated Optical Waveguides in Polyimide for Wafer Scale Integration." *J. Lightwave Technol.*, vol.6, no.6, pp.1034-1044, 1988.
- [42] W.K. Burns and G.B. Hocker, "End Fire Coupling between Optical Fibers and Diffused Channel Waveguide." *Applied Optics*, vol.16, no.8, pp.2048-2050, 1977.
- [43] W.K. Burns, "Laser Diode End-Fire Coupling into Ti:LiNbO₃ Waveguide." *Applied Optics*, vol.18, no.15, pp.2536-2537, 1979.
- [44] Y. Cai, T. Mizumoto, E. Ikegami, and Y. Naito, "An Effective Method for Coupling Single-Mode Fiber to Thin-Film Waveguide." *J. Lightwave Technol.*, vol.9, no.5 pp.577-1991, 1991. 

筆者紹介



俞炳權

1970年 11月 30日生

1992年 2月 한국과학기술대학 전기 및 전자공학과 (학사)

1993年 3月 ~ 현재 서강대학교 전자공학과 (석사 과정)



池龍

1955年 7月 3日生

1978年 8月 서강대학교 전자공학과 (학사)

1981年 8月 서강대학교 전자공학과 (석사)

1987年 5月 The University of Texas at Austin,
Electrical Eng., Ph.D.

1987年 6月 ~ 1987年 8月 The University of Texas at Austin, Research Associate

1987年 9月 ~ 1991年 2月 미국 Microelectronics and Computer Technology Corporation (MCC) Member of Technical Staff

1991年 3月 ~ 현재 서강대학교 전자공학과 조교수

주관심 분야 : 전자 시스템 패키징 및 반도체 패키징, 광소자 패키징, 반도체 공정, MCM