

## 가시광 레이저를 이용한 수광소자의 수동정렬 및 플립칩본딩

유정희\* · 이세형 · 이종진 · 임권섭 · 강현서

한국전자통신연구원 광통신연구센터

### Passive Alignment of Photodiode by using Visible Laser and Flip Chip Bonding

Chong-Hee Yu\*, Seihyoung Lee, Jong-Jin Lee, Kwon-seob Lim, and Hyun-Seo Kang

Optical communications Research Center, Electronics and Telecommunications research Institute

**초 록:** 광통신용 광모듈에서 광소자와 광섬유 또는 도파로를 정밀하게 정렬 및 접합하기 위하여 플립칩본딩 방법이 널리 이용되고 있다. 이때 광소자를 정확한 위치에 정렬시키기 위하여 기판과 광소자 양쪽에 정렬용 마크를 제작하고 플립칩본더 등을 사용하여 정렬마크를 관찰하며 광소자를 정렬 및 본딩하게 된다. 본 연구에서는 이러한 정렬마크의 제작비용을 줄이고 광섬유와 수광소자(PD 칩)의 수동정렬을 용이하게 하기 위하여 He-Ne 레이저(파장 633nm)인 가시광을 이용한 정렬 및 플립칩본딩 방법을 연구하였다. 광섬유에서 방출되는 레이저 광을 육안으로 관찰하면서 수광소자를 정렬하므로써 패키징에 소요되는 시간과 경비를 절감하고 광모듈의 저가격화를 실현 할 수 있는 새로운 방법이다. 광섬유에 가공되어 있는 V-노치를 경유하여 가시광이 광섬유에 대해 직각방향으로 방출되고 이것을 수광소자와 정렬하는 방법이다. 본 연구결과 광정렬을 위해 입사된 633 nm 파장의 가시광 레이저와 통신용 레이저인 1550 nm 파장사이의 파장 차이에 의한 광경로 차이는 약 4 m으로 무시가능하고 최대 광세기 지점에서  $\pm 20 \mu\text{m}$  범위내에서는 광결합효율 변화는 약 2%이었으며 최대 광결합효율은 약 23.3%이었다.

**Abstract:** In the optical module for optical communications, the flip chip bonding is used for the precise alignment of the optical fiber and optical device. In flip chip bonding, the optical device is aligned and welded while observing the alignment mark of substrate and chip by using flip chip bonder in order to bond the optical device at the exact position. In this research, optical passive alignment method of photodiode(PD) flip chip bonding is suggested for low cost optical subassembly. By using the visible He-Ne laser (633nm wavelength), photodiode is easily aligned with emitting spot on the optical fiber with the help of stereoscopic alignment system. We compensated wavelength dependent deviation about 4m to find out real alignment position of 1550nm input laser by ray tracing. The maximum optical coupling efficiency between the optical fiber and photodiode was about 23.3%.

**Keywords:** Flip chip bonding, Visible laser, Optical module, Passive alignment, Photodiode, Si substrate

### 1. 서 론

전자부품 및 광통신부품에서 널리 이용되고 있는 플립칩본딩은 칩의 동작부분을 밑으로(Face

down)하여 기판에 접합하는 방법이다.<sup>1-4)</sup> 이러한 플립칩본딩 방법에는 솔더의 형상에 따라서 솔더 박막, 솔더범프(Bump), 솔더볼(ball), 스텐드범프(Stud Bump) 등을 이용하는 여러 가지 방법이 있

\*Corresponding author  
E-mail: yuch@etri.re.kr

다. 광통신에 사용되는 광모듈에서의 광소자(LD, PD 등)의 접합은 박막 솔더를 이용한 플립칩본딩 방법이 널리 이용되고 있다. 광소자의 플립칩본딩에서 접합용 솔더로 Au-Sn20(wt.%) 조성의 공정 솔더가 주로 사용되고 있다. Au-20Sn 공정솔더는 무플럭스(fluxless) 솔더링 공정이 가능할 뿐만 아니라 열전도도가 우수하고, 크리프(creep)와 전자 이동(electromigration)에 대한 저항성이 높기 때문이다.<sup>5-8)</sup>

이러한 Au-Sn20 공정솔더를 사용하는 플립칩본딩에서 광섬유(Optical fiber) 또는 광도파로(Optical waveguide) 등에 광소자를 정렬시키기 위하여 정밀한 정렬마크의 제작이 요구되는데, 보통 레이저 다이오드(LD)를 기판에 접합할 경우 좋은 광결합효율을 얻기 위하여 1  $\mu\text{m}$  이내 허용오차의 정밀도를 필요로 하고 있다. 이와 같이 기판에 광소자를 정렬시키기 위하여 광축을 정밀하게 정렬시키는 방법에는 능동정렬(active alignment)과 수동정렬(passive alignment)이 있다. 능동정렬방법은 광소자를 작동시킨 상태에서 수광 또는 발광의 세기를 분석하여 가장 최적의 위치에 정렬을 하는 방법으로서 이 방법은 광소자를 작동시킨 상태에서 정렬하기 때문에 정렬능력은 뛰어나나 공정이 복잡하고 정렬에 따른 시간 및 경비가 많이 소요되는 단점이 있다. 이에 비하여 수동정렬방법은 광소자를 동작시키지 않는 상태에서 광정렬을 수행하므로 정밀한 광축정렬은 어렵지만 공정이 비교적 간단하므로 소요비용이 적은 장점이 있다.

수동정렬방법은 다시 3가지 방법으로 나눌 수 있다. 첫 번째 방법은 기계적 정렬방법으로서 광소자가 실장될 기판에 광소자가 정확하게 위치할 수 있도록 정확하게 홈을 파고 광소자를 정확한 치수로 가공한 후 광소자를 기판위에 실장시키는 방법인데, 이러한 기계적방법은 일정한도의 정확도(약 1  $\mu\text{m}$  이내)로 광소자 및 기판을 가공해야 하는 어려움이 있다. 두 번째 방법은 솔더범프(solder bump)의 표면장력을 이용하는 플립칩본딩 방법으로 기판에는 솔더범프를, 광소자 칩에는 솔더패드(solder pad)를 사진식각공정(Photolithography)을 통하여 정확한 위치에 형성하는 방법이다. 즉 솔더범프 위에 솔더패드를 대략적으로 정렬시킨 후 가열하면 솔더범프가 리플로우(reflow)되어 가장 안정한 형상으로 변하면서 광소자를 정확한 위치

로 이동시킨다. 이러한 솔더범프를 이용하는 방법에서는 솔더패드 및 솔더범프 형성 조건이 까다롭고 정렬 정밀도도 수 마이크로미터로 고정밀도가 요구되는 광소자에는 잘 사용되고 있지 않다. 세 번째 방법은 기판 및 광소자에 정렬마크를 형성하고 이에 의해서 광소자를 정렬하는 정렬마크 정렬방법이다. 정렬마크 정렬방법은 플립칩본딩 장비 등을 사용하여 기판과 칩에 제작되어 있는 정렬마크를 관찰하여 정렬한 후 솔더링 공정을 통하여 정확한 위치에 접합을 하고 있다. 그러나 고정밀도의 플립칩본딩을 위하여 기판 및 광소자에 정렬마크 제작이 요구되므로 패키징 비용이 상승하게 된다. 따라서 플립칩본딩의 생산성을 향상시키고 저가격화하기 위하여 좀더 단순하고 편리한 플립칩본딩 방법이 요구되고 있다.

본 연구에서는 이러한 정렬마크의 제작비용을 줄이고 간단하게 광소자를 광섬유 또는 광도파로에 수동정렬 및 접합시키기 위하여 방출광이 가시광영역인 He-Ne 레이저(파장 633 nm)를 사용하는 새로운 방법을 제안한다. 633 nm의 가시광 레이저를 이용하여 수광소자를 광섬유에서 방출되는 레이저 빔을 육안으로 관찰하며 정확한 위치에 수동정렬하므로써 공정단가 및 제품의 저가격화를 실현 할 수 있다. 본 연구에서 제안한 방법을 광섬유에 가공되어 있는 V-노치를 경유해서 입사광을 광섬유 상부의 직각방향으로 방출시키고 이를 수광소자와 광정렬 및 플립칩본딩 하는 방법으로 제작되는 광수신기에 응용하였다. 또한 광정렬을 위하여 입사된 633 nm 파장의 가시광 레이저와 광통신에서 사용되는 1550 nm 파장의 레이저 사이의 광파장의 차이에 의한 광경로 차이를 검토하기 위하여 시뮬레이션 툴을 이용하여 모드 진행 특성을 분석하였다.

## 2. 실험 방법

가시광 레이저를 이용한 수광소자의 수동정렬 및 플립칩본딩을 적용하기 위하여 광수신기 서브모듈을 입력된 광 신호가 광섬유에 형성된 경사진 광섬유 브래그 그레이팅(Tilted Fiber Bragg Grating, TFBG)에서 클래딩모드로 결합되고 가공된 V-노치(notch)부분에서 반사된 후 수광소자와 결합되도록 설계하였다. 그림 1에 본 연구를 위한 시제

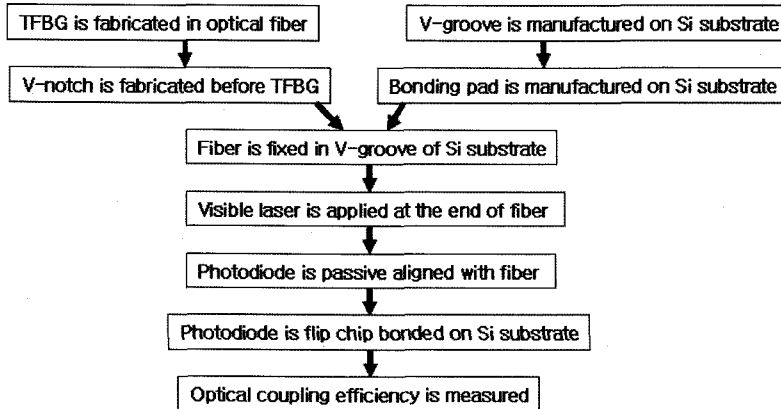


Fig. 1. Process chart of experiment.

품제작 및 실험과정의 흐름도를 나타내었다. 수광소자를 기판의 상부에 접합시키기 위하여 광섬유에서 나오는 광이 위로 방산되어야 하므로 TFBG를 제작하였다. TFBG는 광감도파이버(Photosensitive Fiber)를 수소처리 한 후 엑시머 레이저(Excimer laser)를 이용하여 제작 하였다. 이때 광섬유의 스트리핑(Stripping)은 약 18 mm 지점까지 코팅이 제거되며 TFBG는 코팅이 제거된 부분의 시작점에서 약 3.5 mm 지점을 기준으로 약 10 mm 지점까지 제작 되었다. 그림 2에 광섬유에서의 TFBG 제작 위치 및 크기를 나타내었다.

광섬유를 통해 진행되는 광의 방출을 위해 광섬유에 V-노치를 가공하는데 이때 V-노치는 고속, 고정밀 가공이 가능한 펨토초(Femto second) 가공용 레이저가 사용되었다. V-노치는 코팅부 끝단에서 약 2.3 mm, 파이버 끝단에서 15.7 mm 지점에 깊이

45  $\mu\text{m}$ , 폭 약 90  $\mu\text{m}$ 의 V자형으로 가공하여 반사의 원리에 의해 클래딩으로부터 방출되도록 하였다. 그림 3에 가시광 레이저를 이용하여 수광소자와 광섬유의 정렬 및 플립칩본딩을 적용하기 위한 모식도를 나타내었다.

한편 TFBG가 형성된 광섬유를 실리콘 기판에 실장하기 위하여 실리콘 기판에 V-홈(V-groove)을 가공 하였으며 광섬유가 기판 표면보다 낮게 실장시키기 위해서 폭이 약 250  $\mu\text{m}$  정도의 V-groove를 제작하였다. 이와 같이 실리콘 기판에 실장된 광섬유의 V-노치부분 즉, 가시광이 방출되는 부분에 수광소자를 수동정렬하기 위하여 실리콘 기판에 수광소자 접합용 본딩패드를 설계하였다. 수광소자가 플립칩본딩되는 부분은 용융점이 280°C인 Au-Sn20 공정솔더가 증착되었다. 솔더 층의 두께는 약 3  $\mu\text{m}$ 이고 솔더 층 하부에는 0.05  $\mu\text{m}$  Ti, 0.1

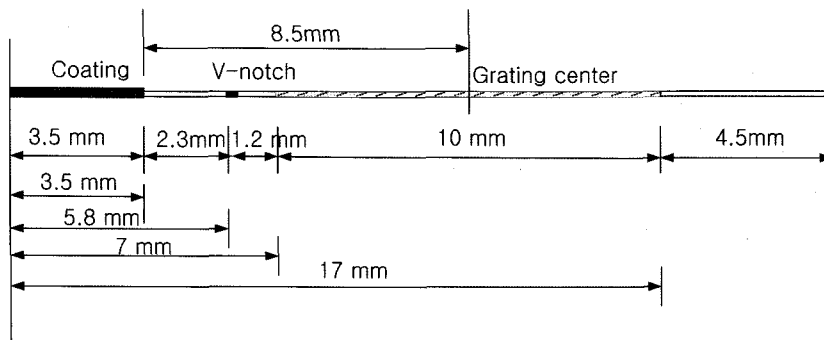


Fig. 2. Positions of TFBG and V-notch in the optical fiber.

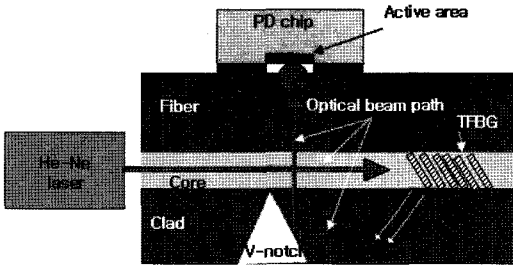


Fig. 3. Schematic diagram of passive alignment between photodiode and fiber.

$\mu\text{m Ni}$ ,  $0.2 \mu\text{m Au}$ 의 언더범프 메탈리지(Under bump metallurgy, UBM)를 제작하였다. 수광소자 접합용 본딩패드 크기는 폭  $450 \mu\text{m}$ , 길이는  $1500 \mu\text{m}$ 로 하였으며 길이방향으로 광이 나오는 위치가 다를 수 있기 때문에 길이를 충분히 크게 설계하였다. 본 연구에서 사용된 수광소자는 사이옵틱스(Cyoptics)사의 상용 제품(124NLVT APD chip)으로 반응영역 (Active area)은  $80 \mu\text{m}$ 이며 한변이  $508 \mu\text{m}$ 인 정사각형 모양을 하고 있다.

TFBG와 V-노치가 형성된 광섬유를 UV epoxy를 이용하여 실리콘 기판의 V-groove내에 고정시켰다. 이때 광섬유의 끝단은 실리콘 기판의 끝면과 일치하도록 정렬하였으며 코팅부와 TFBG가 새겨진 광섬유 끝에 에폭시를 도포하여 광섬유를 고정시킨 후 위치 변화량이 없도록 하였다. 광섬유가 고정된 실리콘 기판을 플립칩본더(독일 Fine-tech사제품, 모델 Lambda 96)의 스테이지에 올려놓았다. 실리콘 기판위의 광섬유 끝에서 He-Ne 가시광 레이저(파장  $633 \text{ nm}$ )를 입사시키고 광섬유에 가공된 V-노치를 경유하여 방출되는 광을 현미경을 통한 육안으로 관찰하면서 방출광의 가장 밝은 부분과 수광소자의 반응영역의 중앙이 서로 일치하도록 플립칩본더에 장착된 마이크로미터를 이동시키며 수동정렬 한다. 이 때 입사되는 가시광 레이저의 적당한 광량은 약  $1\text{mW}$  정도이며, 너무 크면 방출광이 산란되어 중심위치를 분별하기 어렵고 너무 작으면 식별하기 어려운 점이 있다. 이와 같이 광섬유와 수광소자가 정렬된 후 수광소자와 실리콘 기판을 동시에 가열하여 기판에 코팅된 Au-Sn20 공정솔더의 접합조건에 맞게 플립칩본딩을 실시하였다. 플립칩본딩된 수광소자는 통신용 레이저 광원(파장  $1550 \mu\text{m}$ )으로 광을 입사시

키며 수광소자에서 나타내는 광파워를 측정하여 광결합효율을 측정하였다. BeamPROP 및 Full-WAVE 시뮬레이션 툴을 사용하여 FullWAVE를 이용가시광영역인  $633 \text{ nm}$  레이저와 적외선 영역인  $1550 \text{ nm}$  통신용 레이저의 광경로 진행 특성을 분석하여 파장에 따른 파워 분포의 차이를 계산하여 이에 따른 정렬 오차를 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 광섬유의 광방출 특성

광섬유에 형성된 TFBG로부터 약  $0.5 \text{ cm}$  앞단 부분에 펄스초 레이저를 이용하여 일정한 크기로 가공된 V-노치를 그림 4에 나타내었다. V-노치의 폭은 약  $95 \mu\text{m}$  이고 깊이는 약  $45 \mu\text{m}$ 로 가공되었다. 펄스초 레이저를 이용한 광섬유에 V-노치의 가공은 V-노치의 형상 및 깊이를 거의 일정하게 가공할 수 있으며 가공 단면은 매끈하였다. 이와 같이 TFBG 및 V-노치가 가공된 광섬유에 광통신용 레이저를 파장을 변화시키면서 입사시키고 파워미터를 통하여 V-노치를 경유하여 방출되는 광을 적외선 현미경으로 관찰한 결과를 그림 5에 나타내었다. 광섬유에 가공된 V-노치의 반대 방향으로 광이 방출되고 있는 것을 알 수 있다. V-노치를 경유하여 방출되는 광의 파워를 측정한 결과를 그림 6에 나타내었다. 파장가변 광원의 파장변화량은  $0.02 \text{ nm}$ 로 변화시키며 측정하였으며 광원의 광파워 입력값은  $1 \text{ mW}$ 로 하였으며, 기계적인 커넥터의 연결로 인하여  $0.2 \text{ mW}$  정도의 삽입손실이 발

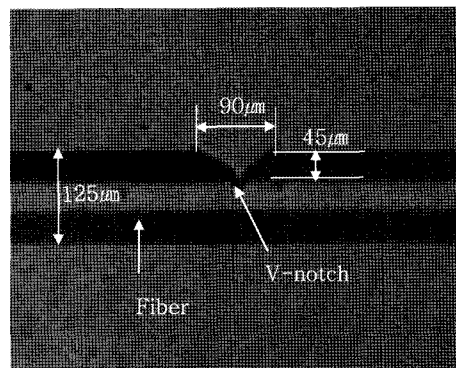


Fig. 4. Dimensions of V-notch in optical fiber.

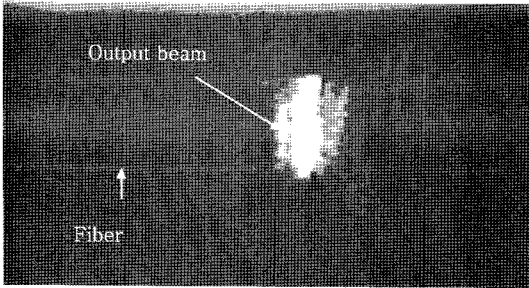


Fig. 5. Photograph of output beam in optical fiber.

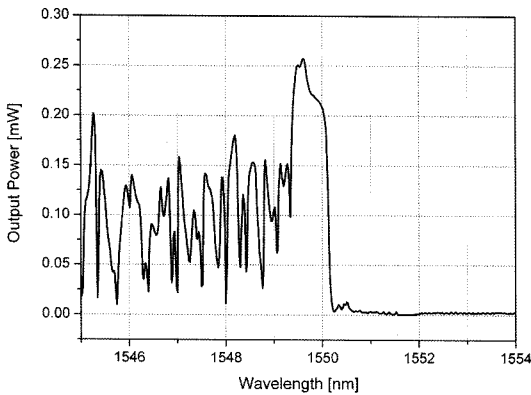


Fig. 6. Power and wave length of output beam.

생하였다. 코어-클래딩 모드가 최대로 결합된 파장 보다 단파장인 1549.62 nm에서 광파워가 최대 값을 보였고, 값은 0.26 mW 이었다. 그림 6은 TFBG와 흡이 파여진 부분을 제외하고 광섬유 끝단에서 나오는 광파워 세기를 적분구 검출기를 이용하여 모니터링한 결과이다. 광원을 통해서 광섬유로 인가된 광파워는 어댑터의 손실을 감안하여 0.8 mW이고 V-노치를 경유해서 방출된 최대 광파워가 0.26 mW이므로 인가된 광량에 대한 V-노치를 경유하여 방출되는 광량은 약 32.5%이었다. 따라서 광섬유에 TFBG와 V-notch를 제작하여 광섬유 내의 광의 진행 방향을 수평방향에서 수직 방향으로 전환할 수 있었다. 이와 같이 광의 진행 방향이 수직으로 변화됨에 따라 가시광 레이저를 사용하여 실리콘 기판 상부에 수광소자를 수동정렬 및 본딩이 가능하게 된다.

### 3.2 수광소자와 광섬유의 수동정렬

실리콘 기판의 V-groove내에 실장된 광섬유에서

광이 나오는 부분인 V-노치 부분에 광을 수광하기 위한 수광소자를 정렬하여야 한다. 수광소자와 광섬유를 정렬하기 위하여 발광 파장이 가시광영역인 He-Ne 레이저를 이용하였다. He-Ne 레이저를 커넥터를 이용하여 실리콘 기판의 광섬유 끝단에 연결하고 광섬유의 V-노치에서 나오는 광의 위치를 육안으로 관찰하며 가장 밝은 부분에 수광소자의 반응영역의 중앙이 오도록 정렬한다. 그림 7에 이와 같이 가시광 레이저를 통한 광섬유와 수광소자를 수동정렬한 결과를 나타내었다. 기존에는 이와 같이 광섬유와 수광소자를 정렬하기 위하여 수광소자를 작동시키면서 수광소자에서 광을 가장 많이 수광하는 지점을 찾는 능동정렬 또는 미리 광이 나오는 부분을 정확히 설계 및 가공하여 그 부분에 PD칩을 집합하는 수동정렬방법이 이용되어 왔다. 그러나 능동정렬은 시간과 경비가 많이 소요되는 단점이 있고 수동정렬은 시간은 단축시킬 수 있으나 정확한 설계 및 정렬마크 제작공정 등이 수반되어야 하므로 수율이 낮고 패키징 가격이 상승하는 단점이 있었다. 본 연구에서 수행한 가시광을 이용한 광섬유와 수광소자의 정렬방법은 간편하면서 시간을 크게 절약할 수 있는 방법이다.

### 3.3 수광소자의 플립칩본딩

그림 7과 같이 수광소자와 광섬유가 정확하게 정렬된 상태에서 플립칩본딩을 이용하여 수광소자를 기판에 플립칩본딩 하였다. 기판의 수광소자

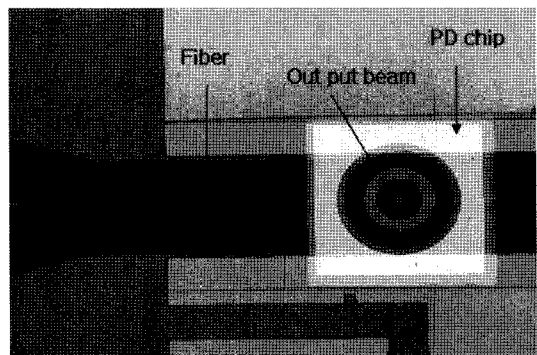


Fig. 7. Passive alignment between photodiode and fiber by using visible laser.

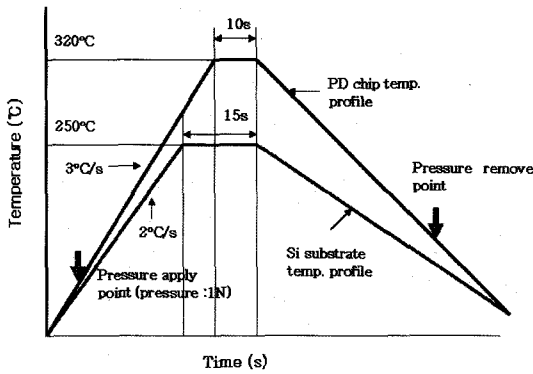


Fig. 8. Conditions of process for photodiode flip chip bonding.

접합부위에 Au-Sn20 공정술더가 증착되어 있고 수광소자를 플립칩본딩 하기 위한 온도, 시간, 압력조건 등을 변화시키며 최적의 접합조건을 도출하였다. 그림 8에 수광소자를 Au-Sn20 공정술더에 접합하기 위한 최적의 플립칩본딩 조건을 나타내었다. 플립칩본딩을 위해 수광소자는 승온속도 3°C/s로 하여 Au-Sn20술더의 용융점(280°C) 보다 약 40°C가 높은 320°C로 가열하였다. 그리고 320°C에서 약 10초간 유지한 후 상온으로 냉각하였다. 실리콘 기판은 승온속도 약 2°C/s로 하여 250°C까지 가열한 후 15초 동안 유지한 후 상온으로 냉각하였다. 상기 온도 및 시간의 조건하에서 플립칩본딩을 위한 압력은 약 1N으로 하였으며 정밀도를 높이기 위하여 가열과 동시에 수광소자에 인가하였다. 접합이 완료되고 기판의 온도가 약 80°C 이하로 되는 지점에서 수광소자에 가해진 압력을 해제하였다. 본 연구에 사용된 플립칩본더는 본딩 전 정렬정밀도는 약 1 μm이며 본딩 후에는 본딩 온도, 압력, 술더 등 변수에 따라 다르지만 약 2~3 μm의 정밀도를 나타내고 있다.

3.4 수광소자의 광결합 효율

그림 8에 나타난 플립칩본딩 조건으로 광섬유에서 방출되는 광이 가장 밝은 부분에 수광소자를 플립칩본딩 한 후 수광소자에서의 광의 수광량을 측정하였다. 광섬유에서 입사된 광량에 대한 수광소자에 수광되는 광량을 광결합 효율로 하였으며 측정한 결과를 그림 9에 나타내었다. 또한 수광소자의 플립칩본딩시 본딩 위치 변화에 따른 광결합

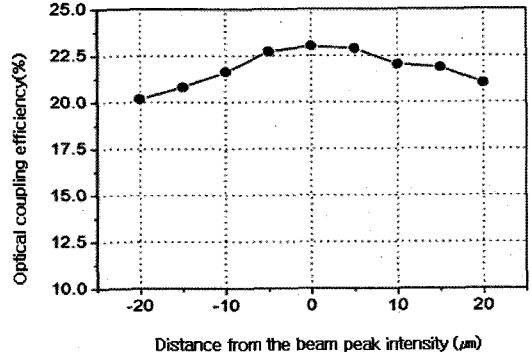


Fig. 9. Optical coupling efficiency change with distance from beam peak intensity.

효율을 검토하기 위하여 He-Ne 가시광 레이저의 광이 가장 밝은 부분을 중심으로 전후 약 20 μm 범위 내에서 수광소자의 위치를 변화시켰다. 그림 9에서 알 수 있는 바와 같이 방출광이 가장 밝은 부분에서 전 후 약 20 μm 범위에서는 광결합 효율 측정값의 변화는 약 2%로 미비하였으며 중심에서 최대 광 결합효율은 약 23.3%를 얻었다. 본 연구에서 사용된 수광소자의 반응면적은 약 80 μm이며 이것 보다 더 큰 반응면적을 가지는 수광소자에서 사용하게 되면 광이 가장 밝은 부분에서 더 많이 벗어나도 광결합효율에는 큰 변화가 없을 것으로 사료된다.

3.5 파장에 따른 광방출 위치 시뮬레이션

가시광영역인 633 nm 레이저와 적외선 영역인 1550 nm 통신용 레이저의 광경로 진행 특성을 분석 하여 파장에 따른 파워 분포의 차이를 계산하고 이에 따른 정렬 오차를 분석 하였다. 분석을 간소화하기 위하여 3차원의 광섬유를 2차원으로 근사화 하였고, 코어 및 클래딩 지름의 크기를 각각 6.9 μm, 125 μm로 하였다. 633 nm 에서의 코어 및 클래딩의 굴절률을 각각 1.46181, 1.45702로 하였다. 보다 정확한 분석을 위해 재료 분산(material dispersion)을 적용하여 각 파장별 모드를 계산 하였다. 분석에 사용된 파장에 비하여 클래딩이 상대적으로 크기 때문에 다중모드(multi-mode)를 형성하게 되나 고차 클래딩모드는 최저차 클래딩모드에 비하여 상대적으로 파워가 작으므로 분석에서는 고려하지 않았다. 따라서 두 파장에서의 최

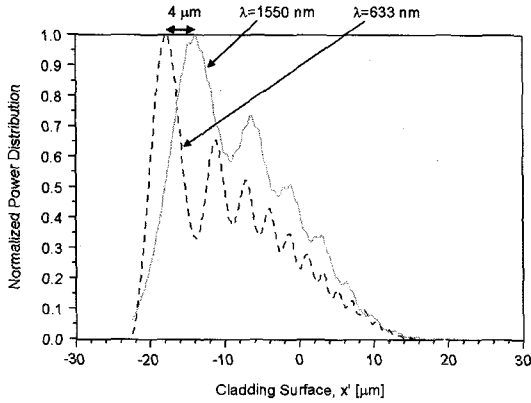


Fig. 10. Simulation of power distribution as a function of cladding surface distance.

저차 클래딩모드를 구한 뒤 이 모드를 이용하여 유한차 시간영역(FDTD, Finite-Difference Time-Domain)분석을 하여 파장별 모드의 진행 특성을 분석 하였다. 분석에 사용된 툴은 RSoft사의 BeamPROP 및 FullWAVE를 이용하였다. FDTD 분석에서 알 수 있는 것처럼 최 저차 클래딩 모드는 클래딩을 통하여 진행하다가 V홈에 의하여 전반사 되어 광섬유 밖으로 방출된다. 이때 광섬유 클래딩 표면에 수직인 방향으로 방출이 되며 클래딩 표면에 근접한 PD로 입사가 된다. 따라서 클래딩 표면을 x'축이라고 했을 때 이 축방향의 파워의 분포가 PD로 입사 된다고 가정 하였다. 그림 10은 각 파장에 따른 x'축에 대한 파워의 분포를 나타 낸 것이다. 비교를 위하여 파워의 최대치를 정규화 하였다. 그림 10에서 알 수 있는 바와 같이 633 nm와 1550 nm의 파장 차이에 따른 최대 파워 위치의 차이가 4 μm로 분석 되었다. 본 연구에 사용된 PD의 수광면적(active area)이 80 μm로 충분히 크기 때문에 결과적으로 4 μm의 차이에 의한 정렬 오차는 무시할 수 있다.

#### 4. 결 론

광통신용 광모듈에서 광섬유와 수광소자의 수동정렬을 하기 위하여 가시광 레이저인 He-Ne 레이저를 이용하는 간단한 수동정렬 및 플립칩본딩 방법을 새롭게 제안하였다. 본 연구결과 광섬유의 V-노치를 경유해 방출되는 광파워는 입력파워 대비 약 26% 이었다. 광섬유의 V-노치의 광방출 지점과 수광소자의 반응영역 중심 정렬이 He-Ne 가시광 레이저를 사용하면 육안으로 관찰하면서 쉽고 간편하게 정렬이 가능하였다. 수광소자의 정렬 및 플립칩본딩 방법으로 광섬유와 PD의 광결합효율을 최대 23.3% 정도 얻었으며 최대 광파워 전후 약 20 μm 범위내에서는 결합효율의 변화는 약 2% 이었다.

#### 참고문헌

1. Osamu Wada and Tsugio Kumai, Appl. Phys. Lett. 58(9), 908(1991)
2. M.Hutter, F.Hohnke, H. Oppermann, M. Klein, G. Engelmann, Electronic Components and Technology Conference, 49(2004)
3. Chin-Chih Liu, Yen-Kuang Lin, Mau-Phon Hong, and Yeong-Her Wang, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., 26(3), 635 (2003)
4. M. Hutter, H. Oppermann, G. Engelmann, J. Wolf, O. Ehrmann, R. Aschenbrenner, H.Reichl, Electronic Components and Technology Conference, 282(2002)
5. J.Y. Tsai, C.W. Chang, Y.C. Shieh, Y.C. Hu, and C.R. Kao, Journal of Electronic Materials, 34(2), 182 (2005)
6. J.Doesburg, D.G. Ivey, Materials Science and Engineering B 78, 44(2000)
7. M.T. Sheen, C.M. Chang, H.C. Teng, J.H. Kuang, K.C. Hsieh, and W.H. Cheng, Journal of Electronic Materials, 31(8), 150(2002)
8. D.J. Kim, T.Y. Lee, H.K. Lee, G.N. Kim and J.W. Lee, J. of Microelectronics & Packaging Society, 14(2), 49(2007)