

## 광통신용 APD-FET 광수신모듈 설계 및 제작

강승구 · 송민규 · 윤형진

한국전자통신연구소 반도체실장연구실

박경현 · 박찬용

한국전자통신연구소 화합물반도체개발실

박 형 무

한국전자통신연구소 화합물반도체연구부

윤태열 · 이창희 · 심창섭

한국전자통신연구소 광통신연구실

유 지 범

성균관대학교 재료공학과

(1993년 12월 30일 받음)

2.5 Gbps급 장거리 광통신 시스템에 소요되는 단일모우드 광섬유 부착 APD-FET 광수신모듈을 설계 및 제작하였다. 본 논문에서는 광수신모듈 제작시 고려해야 할 광학적, 전기적, 기계적 설계 및 제작 그리고 모듈의 특성평가에 대해 설명하였다. 광학적으로는 GRIN rod렌즈와 경사 연마된 단일모우드 광섬유를 갖는 단일렌즈계로 구성하였으며 기계적으로는 광부품의 견고한 조립을 위해 레이저 용접법을 도입하였고 전기적으로는 Avalanche Photo Diode로부터의 소신호를 증폭하기 위한 GaAs FET 전치증폭기를 내장하였다. 모듈 제작후 성능평가에서는 2.5 Gbps 속도에서  $2^{23}$ -1의 길이를 갖는 입력광신호에 대해  $10^{-10}$  Bit Error Rate 조건에서 모듈 수신감도가  $-30.3$  dBm으로 측정되어 국제전신전화 자문 위원회의 규격인  $-26$  dBm은 물론 한국통신규격인 상온  $-30$  dBm을 만족시키는 결과를 얻었다. 본 연구에서의 성공적인 모듈제작은 2.5 Gbps 광통신용 광수신모듈의 실용화는 물론 앞으로 10 Gbps급 광통신용 광수신모듈 제작에 대한 밝은 전망을 보여주는 것이다.

### I. 서 론

70년대에 상온에서 연속적으로 발진할 수 있는 레이저 다이오우드가 개발되면서<sup>[1]</sup> 직접 변조가 가능한 광원이 확보되고 0.2 dB/km라는 극히 적은 손실을 갖는 광섬유의 제작<sup>[2]</sup>이 가능해짐에 따라 광통신에 대한 관심도 및 필요성은 급속도로 증가해 왔다. 광원의 고속 변조화, 광섬유 전송로의 저손실화 및 광수신모듈의 고감도화를 통한 광통신의 발전은 정보 전송의 대용량화, 장거리화가 지속적으로 추진되어 광통신 개발 초기의 45 Mbps급으로부터 현재는 2.5 Gbps급이 거의 상용화 단계에 접어들고 있을 뿐만아니라 일부에서는 10 Gbps급 광통신에 대한 연구도 시도되고 있다.<sup>[3,4]</sup> 현재 국내에서도 2.5

Gbps급 광통신 시스템이 개발되고 있다. 국내 개발중인 2.5 Gbps급 광통신은 강도변조-직접검파 방식으로서 단일 주파수 발진 DFB-LD를 광원으로 사용하여 광신호 전송에서의 분산 영향을 최소화시키고 자체 증폭 기능을 가지며 APD(Avalanche Photo Diode)를 수광소자로 사용하여 광수신기의 감도를 향상시킴으로써 무중계 거리를 최대  $\sim 40$  Km까지 확장시킬 수 있도록 하고 있다. 여기서 2.5 Gbps 광통신 시스템을 구성하는 각 부분별 요구 규격은 CCITT(국제전신전화 자문위원회)에 의해 세부적으로 제정되었는데 이에 따른 2.5 Gbps 광통신용 광수신기의 규격은 아래와 같다.<sup>[5]</sup>

· 최소 수신감도(minimum sensitivity):  $-26$  dBm

- 최대 허용 광량(minimum overload): -9 dBm
- 최대 반사율(maximum reflectance): -27 dB

위의 규격을 만족시키기 위한 광수신모듈은 일반적으로 저정전 용량 및 높은 이득×대역폭 값을 갖는 APD (Avalanche Photo Diode)와 저잡음 전치증폭기로 구성되며 여기에 FC-PC형 광콘넥터가 부착된 단일모우드 광섬유가 결합된 형태를 가진다. 본 연구에서는 ETRI 화합물 반도체 연구부에서 제작한 이득×대역폭=50 GHz 이상, 정전용량 0.3 pF 이하인 1.55 μm 파장용 InGaAs APD chip을 사용하여 2.5 Gbps용 전치 증폭기를 결합한 후 단일모우드 광섬유를 부착한 2.5 Gbps 광수신모듈의 설계 및 제작을 수행하였다. 광수신모듈은 크게 APD chip에 단일모우드 광섬유가 부착된 APD-서브모듈(submodule) 및 전치증폭기를 포함하는 주모듈(main module)로 분리 설계되었으며 서브모듈과 주모듈을 한 몸체로 조립하므로써 전체 모듈이 완성되는 구조를 가진다. 여기서 수광면적이 매우 작은 APD와 단일모우드 광섬유 사이의 광결합은 극히 정밀한 광학적 정렬과 고정요구되는데 본 연구에서는 레이저정렬에 의한 국부용접으로 광부품을 고정하는 레이저 용접법을 도입하여 APD-서브모듈을 제작하였다. 본 논문에서는 그동안 수광소자 개발과 함께 연구되어온 2.5 Gbps 광통신용 광수신모듈의 설계 및 제작 그리고 특성 평가에 관한 사항을 기술하고자 한다.

## II. 광수신모듈 설계

2.5 Gbps 광통신용 광수신모듈을 제작하기 위해서 설계시부터 고려해야 할 사항은 크게 부착된 광섬유를 통해 전달된 광신호가 APD의 수광영역에 가장 많이 결합될 수 있도록 하는 광학적 설계, 그리고 APD로부터 생성된 작은 전기적 신호가 전치증폭기에서 증폭될 때 잡음을 최소화하기 위해 모듈 내부의 전기적인 기생 성분(기생 정전용량, 기생 인덕턴스)을 최소화할 수 있도록 하는 전기적인 설계, 또 이러한 광학적, 전기적 설계를 실현시킬 수 있도록 각 부품에 대한 기계적인 설계가 병행되어야 한다.

### 1. 광학적 설계

2.5 Gbps 광통신 시스템의 광수신모듈에 부착되는 광섬유는 10/125 μm 단일모우드 광섬유로 mode field diameter가 5.5 μm에 이른다. 반면 APD의 수광 면적은 광결합 효율을 크게하기 위해서는 면적을 크게 하여야 하나 면적이 커짐에 따라 정전용량이 커지게 되어 고속

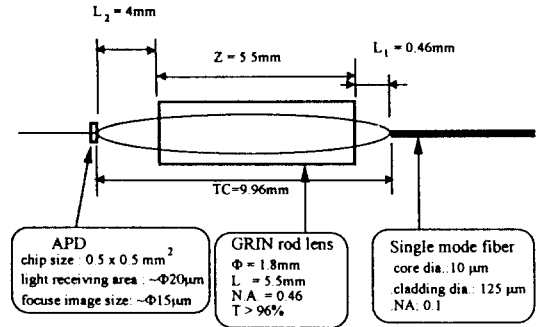


그림 1. 광수신 모듈 제작을 위한 기본 광학계.

동작이 불가능해지고 전치증폭기와 결합시 잡음이 커지므로 수광 면적은 적절한 크기를 지니게 된다. 본 연구에 사용된 광수신모듈용 APD는 고속 동작을 위해 약 0.25 pF의 정전용량을 갖고 수광면적의 직경이 약 15 μm(junction diameter는 약 30 μm) 정도인 소자부터 약 0.5 pF의 정전용량을 갖고 수광면적의 직경이 약 50 μm(junction diameter는 약 70 μm) 정도인 소자까지 다양하게 제작되었다. 모듈제작시 작은 수광면적의 APD chip과 단일모우드 광섬유 사이의 광결합 효율을 높이는 것 이외에 다음 사항들을 고려해야 한다. 먼저 APD는 이득을 갖는 소자이므로 광신호가 국부적으로 입사될 경우 소자의 가용면적중 일부분만이 중첩적으로 사용하게 되는 효과가 발생되어 소자의 수명을 단축시킬 우려가 있다. 따라서 보통 광결합 효율 및 소자 수명을 고려하여 광섬유로부터의 광신호의 빔크기를 APD 수광면적의 70~90% 정도로 확대시켜서 사용하는 것이 이상적이다. 수광소자에 도달되는 광신호의 빔크기를 확대시키는 방법은 여러가지가 있다. 가장 간단한 방법은 절단된 광섬유 자체를 사용하는 방법인데 이 경우 소자와 광섬유간의 간격이 약 35 μm 정도<sup>[6]</sup>로 가까우므로 기계적으로 결합하기 까다로울뿐 아니라 이와같은 butt coupling시 광섬유 반사율이 -14 dB 정도로 CCITT 규격에서 정한 반사율 -27 dB 이하를 기본적으로 만족시키지 못한다. 이외에도 광섬유 끝을 테이퍼링 하거나 마이크로렌즈를 형성시켜 광결합하기도 하는데<sup>[7,8]</sup> 이경우에도 광섬유와 소자간의 간격은 수 십 μm로 가깝다.

본 논문의 APD-서브모듈은 레이저용접법을 이용하여 제작되므로 기계적인 결합을 용이하게 하기 위해 APD chip과 광신호 출사면 사이에는 수mm의 간격이 확보되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 위의 spot size 확대, remote focusing 요구를 만족시키기 위해 pitch 0.29인 GRIN(graded index) rod lens를 이용하여 광학계를 구성하였다. 그림 1은 본 연구에 사용된 광학계로 광섬유와

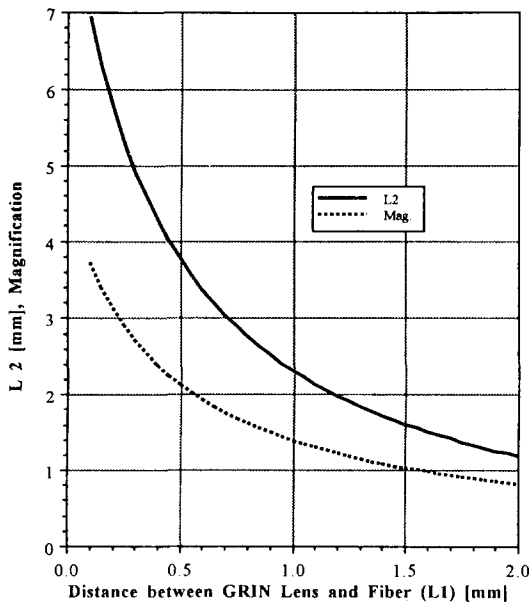


그림 2. 0.29 pitch 1.55  $\mu\text{m}$ 용 GRIN rod 렌즈의 확대배율 특성.

렌즈의 간격( $L_1$ ), 그리고 렌즈와 APD 소자와의 간격( $L_2$ )를 조절하므로써 광신호의 빔 크기를 자유롭게 선택할 수가 있다. 또한 본 논문에서는 광섬유 반사를 줄이기 위해 광섬유 끝을  $8\sim 9^\circ$  정도 갈아서 반사율을  $-14\text{ dB}$ 에서  $-28\sim -30\text{ dB}$  이하로 낮추므로써 앞에 열거한 기준을 만족시켰다. 앞으로 수행할 레이저 용접을 이용한 기계적 결합을 위해 광섬유 페룰, 스페이서, GRIN rod lens를 레이저 용접이 가능한 재질로 만들어진 원통형 하우징에 삽입하였다. 여기서 광섬유 페룰은 광섬유를 고정시키고 적당한 각도로 갈아내는데 필요하며 스페이서는 광섬유로부터의 광신호를 적당한 배율로 확대시키도록 광섬유와 GRIN rod 렌즈 사이에 적당한 거리를 주기 위한 것이다. 예를 들자면 스페이서의 길이가 0.45 mm인 경우 페룰에 대한  $8\sim 9^\circ$ 의 경사연마시 발생하는

광섬유 끝과 광섬유 코어와의 거리  $\sim 10\ \mu\text{m}$   $\left( \frac{12\ \mu\text{m}}{2} \times \tan 9^\circ \right)$ 를 고려하면  $l_1=0.46\text{ mm}$ 이므로 그림 2로부터 배율은 2.2배, 렌즈로부터의 초점거리  $l_2=4\text{ mm}$ 가 결정되므로<sup>[9]</sup> 최소 수광면적(직경  $15\ \mu\text{m}$ 을)의 80%에 해당하는 spot size를 얻을 수 있다. 이렇게 설계된 광학계를 이용하여 직경  $28\ \mu\text{m}$ 의 수광면적을 갖는 APD와 광결합을 시켜 본 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림으로부터 최대 광결합으로부터 10% 이하 손실을 갖는 횡방향 허용 오차는  $3.3\ \mu\text{m}$ 로 레이저 용접을 이용해서 별 무리없이

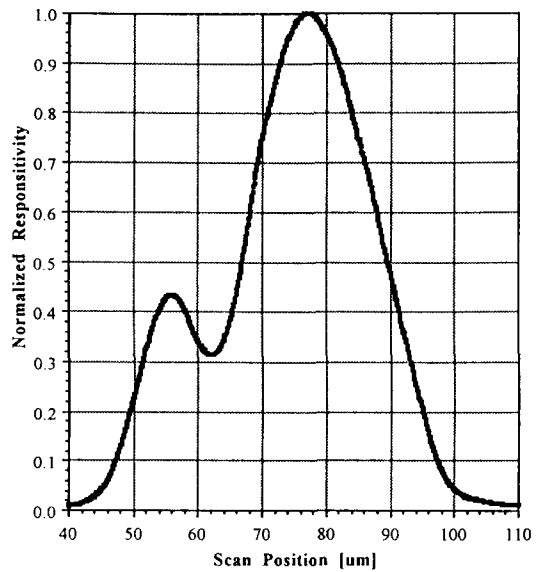


그림 3. 본 연구에서 사용한 광학계를 이용한 APD와 광섬유간의 광결합 실험.

기계적 결합을 수행할 수 있음을 알 수 있다.

## 2. 기계적 부품 설계

앞에서 서술하였듯이 APD sub-module 제작시 광학계는 APD chip에 대해서 횡방향으로  $3.3\ \mu\text{m}$ 이하의 허용 오차를 갖는다. 이와 같이 정밀한 광학계의 정렬 및 고정을 위해 본 연구에서는 순간적인 부품용접 방법으로 Nd-YAG 레이저 용접법을 도입하였다. 사용된 레이저의 광출력은 세가닥의 광섬유에 3등분되어 전달되는데 초점거리 10 cm인 세가의 focusing head에서 각 빔당 약 4 joule을 갖는 빛을 동시에 출사시킨다. 레이저 용접의 기본 원리는  $120^\circ$ 의 대칭성을 갖도록 세방향에서 짧은 시간(수 msec)에 많은 에너지를 조사시켜서 용접 부위를 국부적으로(빔크기는 직경  $600\ \mu\text{m}$ ) 녹여 순간적으로 세 방향 동시 용접하기 때문에 용접 부위의 열팽창 및 수축에 의한 변형을 최소화할 수 있다는 것이며 용접에 필요한 시간도 매우 적게 소요된다. 레이저 용접에 적절한 재질로는 표 1에 표시된 금속들로서 대부분 열전도가 잘 안되는 물질로 국부적으로 빨리 용융시킬 수 있다는 특성을 갖고있다. 이들 물질중 본 연구에서는 가장 많이 이용되고 있는 SUS 304L을 사용하였다. 레이저 용접 방법에는 그림 4와 같이 butt, fillet 그리고 lap welding의 종류가 있는데 정교한 정렬 및 용접이 필요한 부위는 lap 용접이 가장 효과적이나 부품 가공이

표 1. 서로 용접이 가능한 금속 분류표

MATERIAL #1	MATERIAL #2
Cold rolled steel (C-1010)	Cold rolled steel (C-1010)
Cold rolled steel (C-1010)	Stainless steel 3007series, except 303
Cold rolled steel (C-1010)	Kovar
Cold rolled steel (C-1010)	Alloy 42
Stainless steel 300 series, except 303	Stainless steel 300 series, except 303
Stainless steel 300 series, except 303	Alloy 42
Kovar	Kovar
Kovar	Beryllium Copper(BeCu)
Kovar	Copper Tungsten(CuTg)
Beryllium Copper(BeCu)	Beryllium Copper(BeCu)
Beryllium Copper(BeCu)	Cu
Al-4047	Al-4047

어려운 단점이 있다. Butt 용접은 용접 부위의 수직 방향에서 레이저 빔을 주사시키므로 용접에 필요한 에너지 효율 면에서 가장 좋으나 정교한 정열을 필요로 하는 부위에는 사용할 수 없다. Fillet 용접은 45° 정도의 레이저 빔으로 용접을 하므로 에너지 효율면에서는 단점이 있으나 부품 가공이 쉽고 정열이 쉬운 관계로 본 연구의 레이저 용접 방법으로 사용되었다. 레이저 용접을 이용하기 위한 APD 서브 모듈의 외형을 그림 5에 나타내었다. APD base는 용접을 통한 APD 서브 모듈 제작 후에 모듈 본체에 접촉할 수 있도록 나사 구멍을 갖는 사각 flange 형태로 제작하였고 어셈블리 하우징은 광섬유 패물 하우징을 APD base와 횡방향 및 종방향 정열 후 fillet 용접을 할 수 있도록 원통형으로 설계하였다.

3. 전기적 설계

본 연구의 광수신모듈은 2.5 Gbps의 고속 신호에 응답해야 하므로 전기적인 구조 및 연결에 매우 신중해야 한다. 특히 APD 소자는 고속 신호에 대한 응답 특성 및 수신감도를 높이고자 정전용량을 최대한으로 줄여 0.25 pF 정도까지로 제작되므로<sup>11)</sup> 패키징시 부가되는 기생 정전용량을 최소화 하는데 주안점을 두었다. 이를 위해 그림 5.에서와 같이 금으로 stripline 형성된 세라믹 서브스트레이트와 APD chip을 부착시킬 수 있는 세라믹 block을 용접하여 L자 모양을 갖는 세라믹 서브마운트를 제작하므로써 정전용량 및 전치증폭기와 용이한 전기적 접속을 동시에 만족시키고자 했다. 이렇게 제작되는 서브 모듈의 정전용량은 APD 서브 마운트가 APD

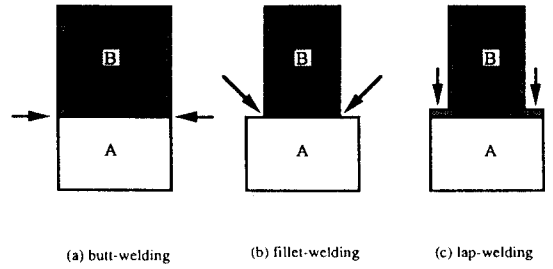
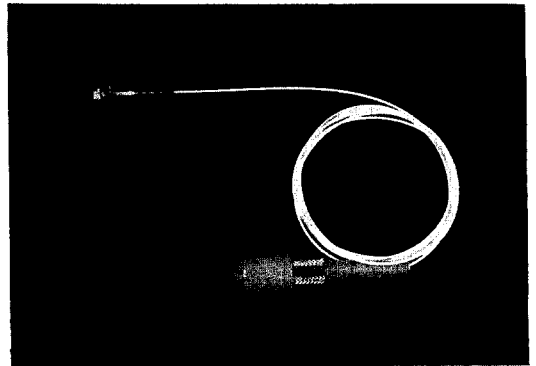
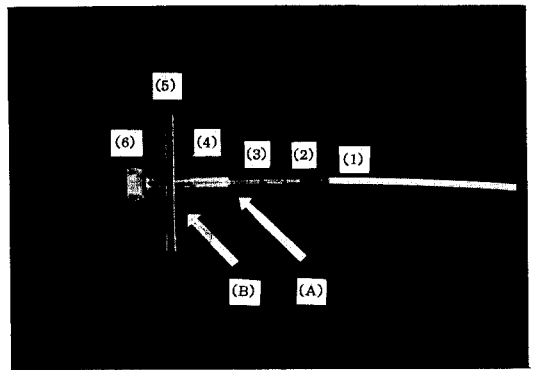


그림 4. 일반적인 레이저 용접 방법들.



(가)



(나)

- (1) 광섬유
- (2) 광섬유 패물
- (3) 패물하우징
- (4) 어셈블리하우징
- (5) APD base
- (6) APD 서브마운트
- (A) 종방향 정열고정용 fillet welding (45도 입사)
- (B) 횡방향 정열고정용 fillet welding (45도 입사)

그림 5. 본 연구에서 제작한 APD 서브모듈의 외형사진.

base에 1 mm 삽입, 고정되었을 때 0.057 pF 정도이므로 소자 특성에는 거의 영향을 미치지 않을 것으로 예상된다. 전치증폭기를 포함하는 모듈 본체는 황동으로 가공 후 금도금을 하고 전치증폭된 고속 신호를 외부로 전달할

수 있도록 고속 신호용 SMA 콘넥터를 설치하였으며 외부의 잡음을 차단할 수 있도록 금속 뚜껑을 덮었다.

### III. 모듈 제작 및 특성 평가

본 연구에 사용된 APD 칩의 크기는 대략  $500\ \mu\text{m} \times 500\ \mu\text{m} \times 150\ \mu\text{m}$ (두께)로 wafer scriber를 이용해 절단된다. APD용 세라믹 서브 마운트에 APD 칩을 다이본딩 및 와이어 본딩을 한 다음 금도금된 APD base에 서브 마운트가 1 mm만 삽입시킨 상태로 옆면을 soldering하였다.

광섬유를 경사지도록 연마하기 위해서 단일모우드 광섬유의 피복을 벗겨낸 후 광섬유 페룰에 삽입하고 접성이 낮은 에폭시로 접착시킨 후  $140^\circ\text{C}$ 에서 4분동안 curing하여 고정시킨다. 경사 연삭 및 연마는 평면 연마용 장비를 개조하여 사용하였다. 이렇게 표면이 경사지도록 가공된 광섬유에 대해 50대 50 광 coupler를 사용하여 광섬유 끝단에서 반사되어 돌아오는 광량을 측정하여 반사율을 계산하였으며 결과는 평균  $-29\ \text{dB}$ 로 나타났다. 또한 가공된 각도는 He-Ne 레이저를 이용하여 광섬유페룰 표면에서 반사되는 각도를 측정하므로써 알 수 있는데 대부분  $8\sim 9^\circ$  사이의 각도로 균일하게 연마되었음을 알 수 있다.

이렇게 조립하여 준비된 부품을 본 연구소가 보유하고 있는 AL1020(Dukane 제작) 레이저 용접용 정렬기구에 장치시켰다. APD base는 x-y 방향으로 움직일 수 있는 lower tool의 collet에 견고하게 고정시켰으며 active align을 위해서 APD 칩에  $-25\ \text{V}$ 의 역방향 바이어스를 걸었다. 어셈블리 하우징은 z 방향으로 정렬이 가능한 upper tool의 outer collet에, 그리고 광섬유 페룰 하우징은 upper tool중 outer collet 내부에서 독립적으로 z 방향으로 움직일 수 있도록 제작된 inner collet에 고정시킨 후 x, y, z 방향 정렬로 APD base와 광섬유 페룰 하우징을 광결합 효율이 최대가 되도록 위치시킨다. 최적의 정렬이 끝난 후 어셈블리 하우징을 APD base에 밀착시켜 우선 서브 모듈의 윗부분인 어셈블리 하우징과 광섬유 페룰 하우징을 세방향 동시 레이저 용접하였다. 이때 정렬이 흐트러지는 경우가 있는데 이러한 경우에는 다시 횡방향(x, y) 미세 정렬을 행한 후 다음 단계인 APD base와 어셈블리 하우징 사이를 세방향 동시 레이저 용접하여 APD 서브 모듈을 준비하였다. 경우에 따라서는 이들 사이의 용접 부위에 균열이 생길 것에 대비하여 기계적 접합 강도를 높이고자 서브 모듈을 약  $10^\circ$  정도 회전시킨 후 추가로 세방향 동시 레이저 용접을 수행

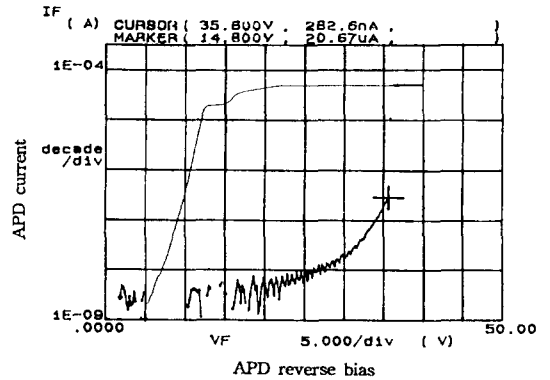


그림 6. 레이저용접한 후 측정된 APD 서브모듈의 전류-전압 특성.

하기도 했다. 레이저 용접을 수행한 결과 대부분 최대 광결합의 95% 이상을 얻었다.

레이저 용접 후 APD 서브 모듈의 특성을 조사하기 위해서  $1.55\ \mu\text{m}$ 의 파장을 갖는  $22\ \mu\text{W}$ 의 레이저 빛을 서브 모듈에 주입시키면서 HP 4145B semiconductor parameter analyzer를 이용하여 전류-전압 특성을 측정된 결과(수광면적 직경  $50\ \mu\text{m}$ )를 그림 6에 보였다. 외부양자효율( $\eta$ )은

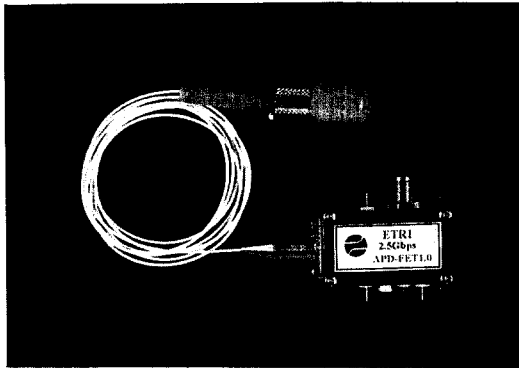
$$\eta = \frac{I_p/e}{p_{opt}/h\nu} = \frac{1}{0.806\lambda} \frac{I_p}{P_{opt}} \quad (1)$$

( $I_p$ : APD에서의 광전류,  $P_{opt}$ : APD에 입사되는 입력 광세기,  $e$ : 전자의 전자량,  $h$ : 플랑크 상수,  $\nu$ : 광의 주파수,  $\lambda$ : 광의 파장)로 주어지므로<sup>11)</sup>  $1.55\ \mu\text{m}$ 의 광원을 이용할 때 100%의 양자효율을 가정한다면  $1.24\ \text{A/W}$ 의 광전류가 생성되어야 하므로 제작된 APD 서브 모듈의 효율은 74.5%로 계산됨을 알 수 있다. 이 효율은 양자효율과 광결합 효율을 모두 내포한 것으로 외부 양자효율을 75%로 가정하더라도 광결합 효율이 95% 이상이므로 광결합 효율이 대단히 만족스럽다.

모듈 본체에는 세라믹 기판위에 제작된 전치 증폭기를  $143^\circ\text{C}$  유테틱 솔더(In/Ag)를 이용하여 용접한 후 외부 바이어스용 핀을 테프론 링을 이용하여 고정시키고 고속 신호 출력단에는 SMA 콘넥터를 고정시켰다. 준비된 APD 서브 모듈 및 광섬유 보호구를 동시에 모듈 본체에 나사로 고정시키고 APD 서브 마운트와 전치 증폭기를 와이어본딩으로 연결하였으며 광섬유 보호구에는 에폭시를 채워 넣어 광섬유를 고정시키고 뚜껑을 덮어 완성된 모듈을 그림 7에 나타내었다. 완성된 ETRI APD-FET1.0 모듈(수광면적 직경  $50\ \mu\text{m}$ )의 특성은 NRZ Pseudoran-



(가)



(나)

그림 7. 완성된 APD-FET 광수신모듈의 사진.

dom Pulse Generator 및 Sampling Oscilloscope 그리고 BER meter(MP 1605A)를 이용하여 수신감도를 측정하였다. 측정결과를 그림 8에 보였으며 2.5 Gbps 속도에서  $2^{23}-1$ 의 길이를 갖는 입력광신호에 대해  $10^{-11}$  BER(bit error rate)에서 수신감도가  $-30.3$  dBm으로 측정되어 한국통신 규격(상온  $-30$  dBm)을 만족시키는 우수한 모듈임을 알 수 있었다.

#### IV. 결 론

지금까지 단일모우드 광섬유가 부착된 2.5 Gbps 광통신용 APD-FET 광수신모듈의 제작 및 특성에 대해서 서술하였다. 결과적으로 패키징 후 총체적인 모듈 특성이 수신 감도  $-30.3$  dBm으로 CCITT 규격은 물론 한국통신 규격을 만족시키는 우수한 광수신모듈로 평가되었다. 모듈 제작시 고려해야 할 사항으로 광학적, 전기적, 기계적인 설계 및 제작기술이 복합적으로 관계되어 있음을 알 수 있다. 광학적으로는 APD가 이득을 갖는 소자이

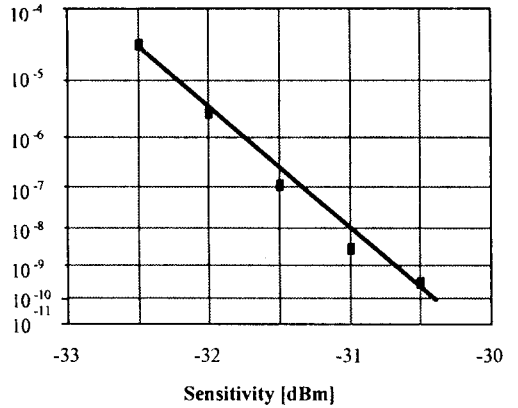


그림 8. 완성된 APD-FET 광수신모듈의 수신감도 특성

- (1) 광섬유 (2) 광섬유 패들
- (3) 패들하우징 (4) 어셈블리하우징
- (5) APD base (6) APD 서브마운트
- (A) 종방향 정열고정용 fillet welding (45도 입사)
- (B) 횡방향 정열고정용 fillet welding (45도 입사)

므로 APD에 국부적으로 연속적인 충격을 주지 않도록 광신호를 적당한 배율로 조정할 수 있게 GRIN rod lens를 사용하고 반사를 줄이기 위해 광섬유를 경사지게 연마하여 삽입하였다. 또한 고속 동작을 위해서 APD의 수광 면적이 계속적으로 작아지므로 해서 까다로워지는 광결합 및 기계적 정렬 및 고정을 만족시킬 수 있는 방안으로 레이저 용접법을 수행함으로써 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 전기적으로는 기생정전용량 및 외부잡음을 최소화하기 위한 설계가, 그리고 기계적으로는 매우 섬세한 레이저용접에 이용될 수 있는 부품설계 및 가공 그리고 재료의 선택이 신중히 고려되었다. 앞으로는 APD-FET 광수신모듈 제작에 있어서 모듈수명에 주는 영향 등을 고려한 패키징 신뢰도에 대한 폭넓은 연구가 수행되어야 할 것이다. 아울러 본 연구에서의 성공적인 모듈제작이 2.5 Gbps 광통신용 광수신모듈의 실용화는 물론 앞으로 10 Gbps급 광통신용 광수신모듈 개발에 조그마한 보탬이 되었으면 한다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국통신 출연금으로 수행하였으며 본 연구에 도움을 주신 한국통신 사업개발단 시스템 개발국에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

[1] I. Hayashi, M. B. Panish, P. W. Foy and S. Sum-

- ski, "Junction lasers which operate continuously at room temperature", *Appl. Phys. Lett.* **17**, 109 (1970).
- [2] T. Miya, Y. Terunuma, T. Hosaka and T. Miyashita, "An ultimate low-loss single-mode fiber at 1.55  $\mu\text{m}$ ", *Elect. Lett.* **15**, 106(1979).
- [3] T. Suzaki, Y. Suzuki, H. Yamada, S. Fujita, H. Hida, M. Kitamura, M. Shikada, "10 Gbit/s optical transmitter module with MQW DFB-LD and DMT driver IC", *Electron. Lett.* **26**, 151(1990).
- [4] H. hamano, T. Yamamoto, Y. Nishizawa, Y. Oikawa, H. Kuwatsuka, A. Tahara, K. Suzuki, A. Nishimura, "10 Gbit/s optical front end using Si-bipola preamplifier IC, flipchip APD and slant-end fibre", *Electron. Lett.* **27**, 1602(1991)
- [5] CCITT recommendation G.957
- [6] Amon Yariv, *Quantum Electronics* (John Wiley & Sons, New York, 1988), p. 122.
- [7] Giok-Djan Khoe, Hendrikus G. Kock, Dieter Kuppers, Josephus H.F.M. Poulissen and Hans M. De Vrieze, "Progress in Monomode Optical-Fiber Interconnection Devices", *J. Lightwave Tech.* **LT-2**, 217(1984).
- [8] Jun-Ichi Yamada, Yasuji Murakami, Jun-Ichi Sakai and Tatsuya Kimura, "Characteristics of a Hemispherical Microlens for Coupling Between a Semiconductor Laser and Single-Mode Fiber", *IEEE J. Quantum Electron.* **QE-16**, 1067(1980).
- [9] *Optics Guide* 5 (Melles Griot, 1993), p. 20.58.
- [10] 유지범, 박찬용, 박경현, 강승구, 송민규, 오대곤, 박종대, 윤태열, 이창희, 광병하, 김홍만, 황인덕, 심창섭, 박형무, "2.5 Gbps 광통신용 InGaAs separate Absorption Grating Multiplication(SAGM) Avalanche Photodiode의 제작 및 특성 분석", 한국광학회지, 1993년 12월 제출.
- [11] Govind P. Agrawal, *Fiber-optic communication system* (John Wiley & Sons, New York, 1992), p.137.

## Design and Fabrication of APD-FET Module for 2.5 Gbps Optical Communicating System

Seung Goo Kang, Min Kyu Song and Hyung Jin Yoon  
*Semiconductor IC Packaging Section*

Kyung Hyun Park and Chan Yong Park  
*Compound Semiconductor Development Section*

Hyung Moo Park  
*Compound Semiconductor Department*

Tae Yul Yoon, Chang Hee Lee and Chang Sup Shim  
*Optical Transmission Section*  
*Electronics and Telecommunications Research Institute, Taejon 302-606, Korea*

Ji Beom Yoo  
*Department of Material Science, Sung Kyun Kwan University, Suwon 440-420, Korea*

(Received: December 30, 1993)

The fiber optic receiver, ETRI APD-FET 1.0, is developed for the application of optical communication. This fiber optic receiver includes PD sub-module and pre-amplifier case. A single lens system is introduced for the PD sub-module. The sub-module consists of the avalanche photodiode(APD), GRIN rod lens, and a single mode fiber. The above components are enclosed into the stainless steel 304L housings. By bevelling the fiber end, the single mode fiber provides less than  $-28$  dB of optical return loss. The area of image focus is controlled by adjusting the length of spacer located in-between the fiber and the GRIN rod lens. The laser welding technique is applied to achieve the maximum coupling efficiency for the joining of each housing. In the pre-amplifier case, GaAs FET pre-amplifier works for photocurrent amplification and the thermister is mounted to control the APD bias. The performance of ETRI APD-FET1.0 shows the sensitivity of  $-30.3$  dBm at  $10^{-10}$  BER(bit error rate) and 2.5 Gbps optical random signal of  $2^{23} - 1$  word length. The fiber optic receiver is one of the essential parts of the transmission module for B-ISDN. Also, the above optical packaging technology will be adapted for the development of 10 Gbps transmission application 2.5 Gbps