통신용 발광 및 수광소자 개발 현황과 전망

- ETRI 연구현황을 중심으로 -

이용탁*, 강민호

한국전자통신연구소,

대전직할시 유성구 가정동 대덕단지 사서함 8호

1. 서론

1960년대 반도체 레이저와 광섬유가 발명된후 20여년간 비약적인 발전을 거듭하여 현재의 광통신 시대를 열게 되었다. 국내에서도 78년경부터 석영계 광섬유와 광전송 시스템 개발을 KIST와 ETRI에서 독립적으로 시작하여 광섬유의 국산화와 90 Mbps 시스템[1]이 보급되어 있고 565 Mbps 급 광통신 시스템[2]이 국산 상용화 개발되었다.

이보다 좀늦게 1984년경부터 ETRI에서는 통신용 광소자에 관한 연구를 시작하여 그동안 1.3μm 및 1.55 μm, GaInAsP/InP 레이저 다이오드 (LD) 및 1.3μm LED, InGaAs/InP PIN 광검출기 등을 개발하였으며 565 Mbps 시스템에 적용할 수 있는 단일모드 광섬유 패키징 모듈을 개발하기에 이르렀다.[3]

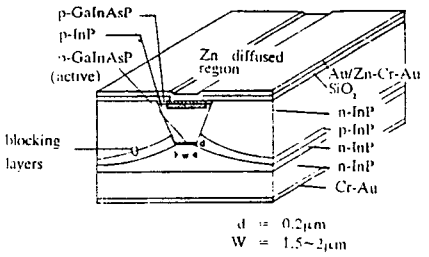
본 고에서는 그동안 ETRI에서 연구개발 하여온 통신용 발광소자 및 수광소자 특성을 요약 소개한다. 또한 이와 같은 반도체 광소자의 성능 향상과 집적화 등 최신 광통신 기술 추세를 소개하고 앞으로의 연구 방향에 대하여 논의한다.

2. 발광소자

통신용 발광소자로는 현재 1.3μm GaInAsP/InP 반도체 레이저가 널리 실용화되어 있고 고속 변조시 발진모드의 단일모드화가 DFB(Distributed Feedback) 레이저 등에 의해 실현되고 있는 단계이다. 한편 근거리 통신망 등 가입자 전송응용을 위해 값이 싸고 신뢰도가 높은 발광소자의 필요성도 점차 크게 대두되고 있으며 0.8μm 대의 GaAlAs/GaAs LD 등이 한때 주목을 받았으나 최근에는 1.3μm LED가 광섬유의 대역폭 특성상의 장점 때문에 주요 소자로 대두되고 있다.

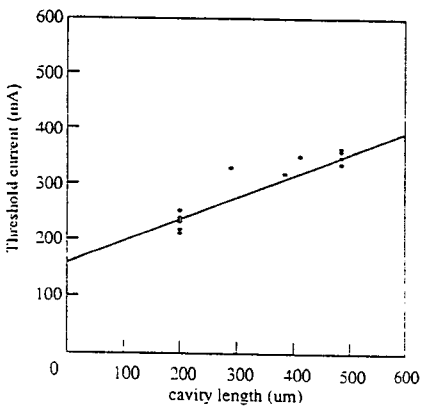
2.1 1.3μm LD

반도체 레이저는 p-n 접합에 순방향 전류 주입에 의해 밀도 반전을 일으켜 레이저 발진조건을 충족시킴으로써 레이저 빔이 나오도록 하는 것이다. 이때 레이저 공진기는 레이저의 양자효율을 높이기 위해 전류와 광을 효율적으로 공진기 안에 가두어 두는 이중이종접합(Double Heterostructure) 구조를 갖도록 하는 것이 보통이다. 또한 횡축방향으로 발광면크기를 최소로 하고 전류주입을 효율적으로 하기 위한 구조로 굴절율 도파구조(Refractive Index Guiding Structure)가 유력한데 가장 일반적인 것이 매립형 구조(BH: Buried Heterostructure)이다. (그림 1)은 이와 같는 1.3μm GaInAsP/InP BH LD의 개략도를 나타내었다.



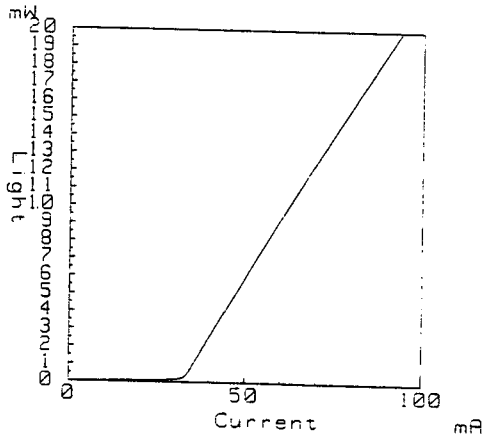
(그림 1) 1.3μm GaInAsP/InP BH LD의 개략도

반도체 레이저는 이득이 손실보다 크게 되면 그때부터 발진하게 되는데 이때 발진개시전류 밀도는 내부 손실 및 반사면에서의 광출력에 의한 손실, 계면 및 도파로에서의 광산란, 비발광 천이과정, 주입전류의 누설 등에 의해 영향을 받는다.[4] 1.3μm GaInAsP/InP DH 레이저에서는 활성층의 두께가 0.1~0.2μm 일때 발진개시전류 밀도가 최저값을 갖는다.[4] DH 7 웨이퍼의 발진개시전류 밀도 분포는 (그림 2)에 나타낸 바와 같이 2KA/cm^2 이하로 얻어졌다. 이것은 앞에서 지적한 발진개시전류에 영향을 미치는 여러가지 요인 중에서 최종적으로 도파로층의 도우핑 농도를 조정함으로써 최적화시킬 수 있었다. 다음에 이상적인 BH 구조 형성에 있어서는 DH 웨이퍼의 최적화 및 재현성 확보, 정밀한 lithography 및 표면처리과정, 재성장에서의 문제점들이 중요하게 대두된다.

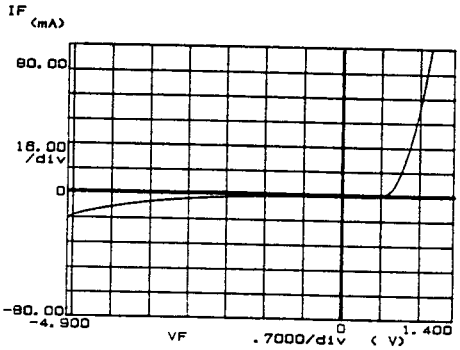


(그림 2) 1.3μm GaInAsP/InP DH LD의 발진개시전류 분포

특히 lithography 공정에 있어서 잔류 감광막(photo-resister)이 전류 차단층 재성장에 큰 장애가 되는데 이는 plasma ashing 공정에 의해 효과적으로 제거할 수 있었다. 또 에칭 마스크로 사용되는 SiO_2 박막과 InP 층과의 부착력이 나쁘면 under-cut 이 심하게 생겨 역메사 구조를 얻을 수가 없다. 상압 CVD SiO_2의 경우 310~350°C에서 증착했을 때에만 under-cut이 없이 Br-methanol(0.3%) 에칭에 의해 이상적인 역메사 구조를 얻을 수 있었다. 그러나 Br-methanol에 의해 에칭할 경우 반도체 표면에 산화막이 형성되어 재성장에 좋지 않은 영향을 준다. 이와 같은 산화막은 KOH(10%) 에칭에 의해 효과적으로 제거함으로써 전류 차단층의 재성장에 성공할 수 있었다.



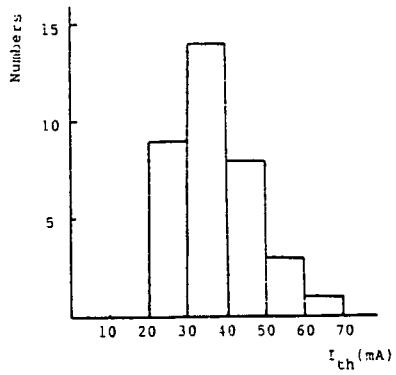
(그림 3) BH LD의 전류-광출력 특성



(그림 4) BH LD의 전류-전압 특성

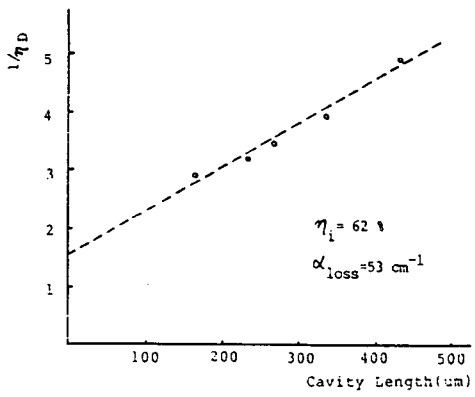
제작된 LD의 전형적인 전류-광출력 특성은 (그림 3)과 같다. BH 8-6의 발진개시전류는 33mA, 외부양자효율은 28%이며 100mA 입력 전류에서의 광출력은 20 mW 이상이었다. (그림 4)는 LD의 전형적인 전류-전압 특성으로 cut-in 전압은 0.7V이며 −4V까지는 누설전류가 거의 없었다. (그림 5)는 BH 8 웨이퍼에서 제작된 칩들의 발진개시전류 분포를 나타낸 것으로 발진개시전

류의 평균은 35mA 정도였으며 외부 양자효율은 15~20%, 최대광출력은 평균 10mW 정도였으나 BH 8-6의 경우는 20mW까지 측정되었다.



(그림 5) BH8 chip 들의 발진 개시 전류 분포

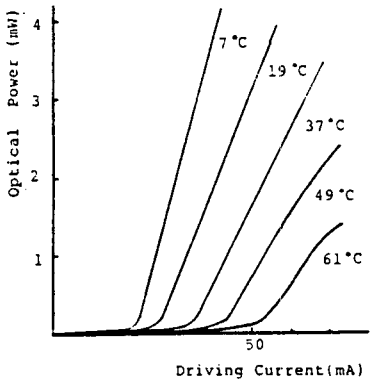
(그림 6)은 공진기 길이의 변화에 따른 양쪽면 양자효율과 내부손실로 η_i는 62%, α_{loss}는 53cm^{-1}로 측정되었다. 일반적으로 전면 전극 LD 에서처럼 누설전류가 거의 없는 경우 η_i는 100%에 가까우나 BH LD는 누설전류가 있게 마련이므로 이 누설전류 때문에 내부양자효율이 감소했을 것으로 추정된다.



(그림 6) 공진기 길이에 따른 양쪽면 양자효율 η_D의 변화

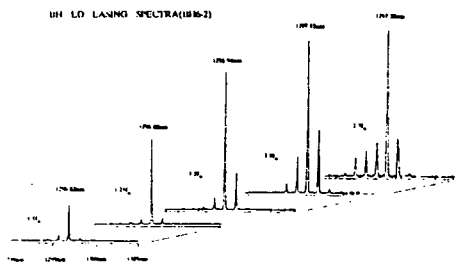
(그림 7)은 BH LD의 온도 특성을 나타낸다. 온도가 증가함에 따라 발진개시전류(Ith)는 증가하고 외부양자효율 η_D는 감소하는데 일반적으로 발진개시전류와 온도와의 관계는 $Ith=I_o\exp(T/T_o)$로 표시되며[4] 측정된 T_o는 59°K였다.

Field pattern은 반도체 레이저의 광출력을 광섬유에 접속시키는 효율에 관계하는데 BH 8-6의 횡방향 방사각도는 24°, 수직방향 방사각도는 42°로 단일 횡모드로 발진하였다.



(그림 7) BH LD의 온도 특성

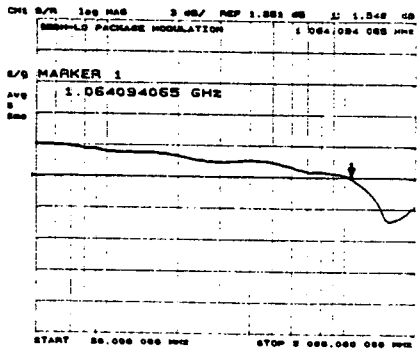
(그림 8)은 주입전류에 따른 발진파장의 변화를 나타낸다. 발진개시전류 근방에서는 여러개의 종모드가 동시에 발진하다가 주입전류가 커짐에 따라 1.25Ith 까지 한 개의 종모드만이 발진했으며 이때의 파장은 1.2969 μm이었다. 전류를 증가시킴에 따라 인접모드가 발진함을 볼 수 있다. 주입전류에 따른 중심파장의 변화는 무시할 정도였으며 인접모드 사이의 간격은 1.24nm 로 공진기 길이가 약 190μm 임을 알 수 있다.



(그림 8) 동작전류에 따른 BH LD(BH6-2)의 발진 spectrum

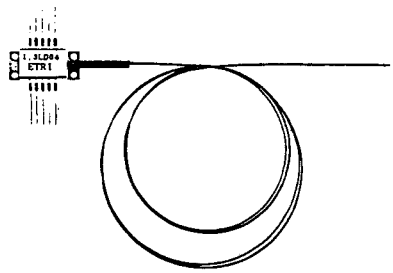
다음에 LD 패키징에 대하여 설명한다. 반도체 레이저를 대용량 광전송 시스템의 광원으로 사용하려면 광출력 및 변조특성, LD와 단일모드 광섬유 사이의 결합 효율, 안정성을 동시에 만족하여야 한다. 이와 같은 LD 모듈은 DIP 패키지라고 불리우는 butterfly형 패키지 외형에 감시용 PD, 온도 측정용 열전대(thermistor), 열전 냉각기(thermoelectric cooler) 등을 내장하여 신뢰도를 높이도록 하고 있다.

이 DIP형 모듈의 변조 대역폭을 제한하는 주요 원인은 LD 칩의 직렬 저항과 병렬 용량, 그리고 특히 모듈 내부의 전극에 의한 인덕턴스가 문제가 되고 있다. 모듈에 사용된 BH-LD의 직렬저항이 7Ω, 병렬용량이 20pF 이었다. 이것을 565 Mb/s 급 광통신 시스템에 적용하기 위해서 모듈의 인덕턴스를 5nH 이하로 감소시켰으며 이 결과로 1 GHz 이상의 3dB 변조 대역폭을 얻었다(그림 9).

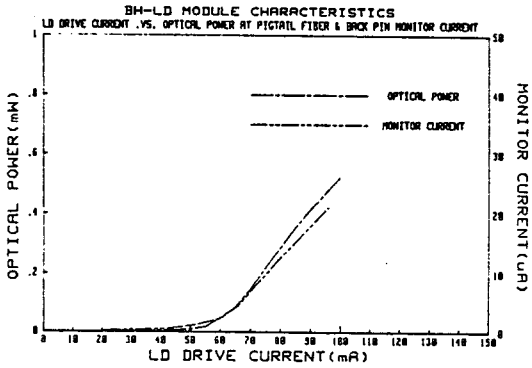


(그림 9) LD 모듈의 변조 특성

(그림 10)은 광섬유가 부착된 LD 모듈의 사진이고 (그림 11)은 LD 모듈의 I-L 특성으로 pigtail 광섬유 출력단에서의 광출력과 LD 칩 뒤쪽에 부착한 출력 감시용 PIN PD의 응답 특성을 나타낸다. 여기서 LD 광섬유 결합은 tapered 렌즈 광섬유에 의한 것으로 현재는 5% 미만의 결합효율을 얻고 있다. 그러나 이것은 광섬유 부착시 정렬오차에 의한 것으로 레이저 융착 등 정밀한 방법을 채용하면 20% 정도까지는 결합효율을 올릴 수 있을 것으로 판단된다.



(그림 10) LD 모듈의 사진



(그림 11) LD 모듈의 I-L 특성

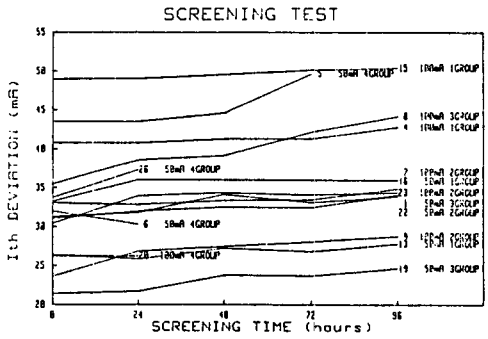
LD는 다른 반도체 소자와 마찬가지로 여러가지 원인에 의해 노쇠화(degradation) 된다. LD의 노쇠화는 크게 세 가지로 분류할 수 있는데 동작전류 또는 광출력이 급속히 증가 또는 감소하는 급속 노쇠화, 점진적으로 증가 또는 감소하는 점진적 노쇠화 및 갑작스런 LD의 동작 불능(catastropic degradation)으로 나눌 수 있다[5]. 따라서 신뢰도 검사는 실험대상 LD 중에서 급속히 노쇠화 되는 것을 분류하는 선별 검사로부터 출발한다. 일반적인 선별 검사 방법은 LD를 고온의 분위기에 고주입 전류로 일정시간 동작시킨 후 LD의 특성 변화를 측정하여 급속 노쇠화의 발생정도를 평가한다.

여기서는 제작된 LD의 적절한 선별조건을 구하기 위한 실험 및 결과에 대해 논의한다. 평균 발진 임계전류가 ~35mA인 LD 15개를 70°C의 전기로 속에 넣

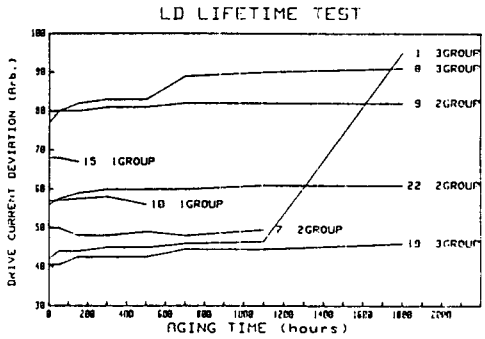
고 각 LD에 발진개시전류보다 충분히 큰 동작전류를 주입시키면서 매24시간마다 발진 임계전류를 측정하였으며 그 결과가 (그림 12)에 나와 있다. 이 검사 결과로부터 검사대상 LD를 네 그룹으로 나눌 수 있다. 첫째 그룹 (15,4,16,13번)은 선별 검사 과정중 임계전류의 변동이 거의 나타나지 않은 것으로 LD 내부에 급속 노쇠화 발생원이 없는 것으로 분석할 수 있다. 둘째 그룹 (23,22,9번)은 선별 검사 초기에는 임계전류가 증가했으나 그 이후 변동이 없는 것으로 급속한 노쇠화가 초기에 발생하나 곧 안정화되어 더 이상 노쇠화가 진행되지 않았다. 셋째 그룹 (8,1,19번)은 정도의 차이는 있으나 지속적으로 임계전류가 증가하고 있다. 이것은 급속 노쇠화가 중지되지 않고 계속해서 진행하고 있음을 나타낸다. 넷째 그룹 (5,26,6,20번)은 선별과정중 동작불능에 다다른 것이다. 선별 결과 LD에서 발생할 수 있는 모든 노쇠화 특성을 관찰할 수 있었으며 이로부터 적절한 조건(온도 ; 70°C, 주입전류 ; 100mA, 기간 ; 72시간)에서 LD를 선별함으로써 특성이 좋은 소자를 고를 수 있다.

선별 검사가 끝난 LD 칩에 대한 수명 검사 (lifetime test)를 행하였다(그림 13). 수명검사는 LD 칩을 상온(25°C)에서 duty 25%로 펄스 동작시켰을 때 3mW의 광출력을 유지하도록 전류를 공급하고 주입 전류의 증가분을 측정하여 일정한 선별 조건으로부터 추정하였다. 그림으로부터 앞에 설명한 선별 검사 결과와 거의 일치하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 먼저 첫째 그룹은 수명 검사에서 동작 특성이 안정화되어 공급전류가 오히려 감소하는 경향을 볼 수 있으며, 둘째 그룹은 수명 검사 초기에는 일시적으로 공급전류가 증가하는 경우도 있으나 곧 안정화가 이루어지고 있다. 그러나 세째 그룹은 수명 검사 과정에서 계속적으로 증가하고 있다.

결론적으로 수명 검사 결과 선별 검사에 의해 구분된 첫째, 둘째 그룹의 LD 칩은 50% duty cycle로 환산했을 경우 최소 20000 시간 이상의 수명을 갖는 것으로 예측할 수 있다.[6]



(그림 12) LD 칩에 대한 선별 검사



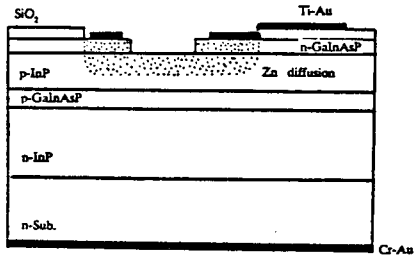
(그림 13) LD 칩에 대한 수명 검사

2.2 1.3μm LED[7]

LED는 LD에 비해 광출력이 작고 대역폭이 좁으며 파장 폭이 크다는 점 등 불리한 점이 많음에도 불구하고 근거리 통신망용 광원으로는 경쟁력이 있다. 그것은 LED의 제조단가가 LD에 비해 낮으며 구동회로가 간단하고 LD의 10^5 시간 정도에 비해 LED는 10^9 시간 정도로 수명이 길다는 장점이 있다. 또한 소자 특성의 온도 의존성이 낮아 신뢰성이 높고 광섬유와의 결합이 LD에 비해 손쉽다.

LED는 그 구조면에서 표면 발광형과 단면 발광형으로 구분된다. 이 두 가지 형태의 LED를 비교해 보면 방사되는 광출력이 표면 발광형이 단면 발광형에 비해 2.5~3배 정도 큰데 반해 광섬유와의 결합은 광

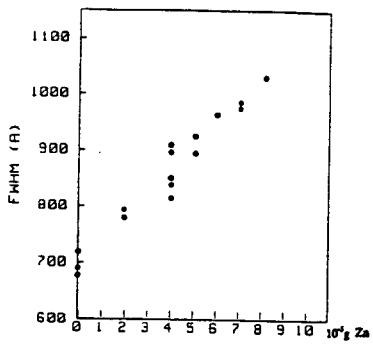
섬유의 N.A.가 적을 때 (N.A.<2) 단면 발광형이 표면 발광형보다 3배 이상 효율이 좋다. 통상 100 Mb/s 이상의 변조가 필요할 때는 단면 발광형 LED가 좋으며 50 Mb/s 이하의 낮은 속도로 큰 N.A. 광섬유를 한 통신의 경우에는 표면 발광형이 유리하다. 본 연구에서는 공정 단계를 줄이기 위해 (그림 14)와 같이 한 면에만 패턴을 형성하는 평면형 LED 구조를 택했다. 이는 제작공정의 단순화로 생산성을 향상시킬 수 있으며 광섬유 결합에 있어서도 구형렌즈를 이용하면 10% 정도까지는 효율을 올릴 수 있으므로 근거리 통신용으로서는 충분한 것으로 판단했기 때문이다.



(그림 14) GaInAsP/InP DH 구조 LED의 단면도

표면 발광형 LED 제작은 1회의 액상성장만으로 가능하며 LD의 경우와 마찬가지로 <100> 방향의 S-doped(6~9×10^{18}/cm^3)InP 단결정 웨이퍼 위에 8μm 두께의 n형 InP buffer 층 (~5×10^{18}/cm^3), 1.1μm 두께의 InGaAsP 활성층 (λ=1.3μm), 2μm 두께의 p형 InP clad 층 및 역방향 접합을 형성하기 위한 0.5μm 두께의 n형 InGaAsP 층을 형성함으로써 LED 웨이퍼가 완성된다.

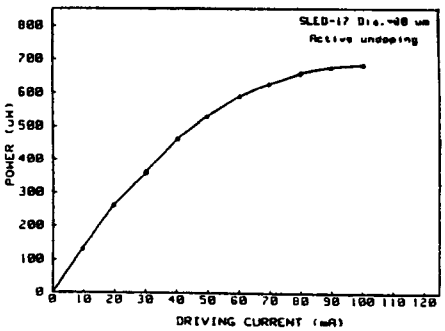
LED의 경우 활성층의 도우핑 농도가 커짐에 따라 변조속도는 증가하나 파장폭이 커지며 광출력은 저하하는 것이 알려져 있다. 다음의 (그림 15)는 활성층의 도우핑 농도에 따른 PL 파장의 폭을 측정한 것으로 도우핑 농도가 증가함에 따라 거의 선형적으로 파장폭이 커짐을 알 수 있다. 제작된 표면 발광형 LED는 활성층에 의도적으로 도우핑하지 않은 경우 전류-전압



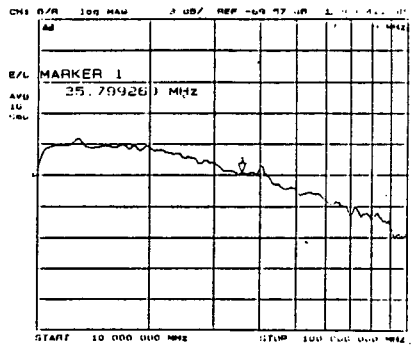
(그림 15) In 1g 당 Zn 도우핑 농도에 따른 PL의 FWHM 변화

특성 곡선으로부터 cut-in 전압이 0.6volt, 항복전압이 −8volt, 순방향 미분 저항은 4Ω 이었다. 최대 광출력은 100mA의 구동전류에서 680μW였으며 (그림 16)에 나타난 바와 같이 60mA 구동전류까지 선형특성을 나타내고 100mA 부터는 포화 특성을 나타내었다. 변조특성은 활성층에 의도적으로 도우핑 하지 않은 경우 3dB 변조 대역폭이 35 MHz 였으며 (그림 17) 활성층에 Zn를 3×10^{18}/cm^3 정도로 도우핑을 하였을 경우에는 약 60 MHz 까지 변조가 가능하였다. 이때 최대 광출력은 500μW 정도로 줄어들었다.

표면 발광 LED는 구형 렌즈 결합에 의해 광섬유에 출력의 10% 정도까지 결합이 가능하므로 근거리 통신용 광원으로 활용이 기대된다.



(그림 16) LED의 I-L 특성 곡선

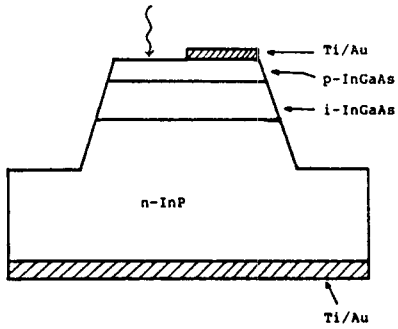


(그림 17) LED의 주파수 특성 곡선

3. 수광소자(GaInAs/InP PIN PD)

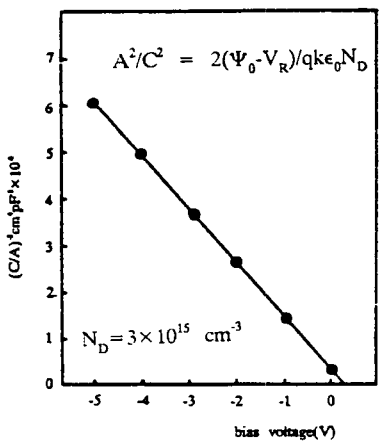
현재의 고속 장거리 광통신 시스템에 사용되는 수광소자로서 GaInAs/InP PIN형 광검출기가 가장 널리 사용되고 있는데 이는 동작 전압 특성상 전치 증폭기로서 GaAs MESFET과 하이브리드 집적화가 가능하고 장래 단일 칩 집적화(monolithic integration)를 통해 소자 특성을 향상시킬수 있을 것으로 기대되기 때문이다. PIN PD의 구조에는 메사형과 평면형의 두 종류가 있는데 메사형은 공정이 간단하고 암전류가 적은 장점이 있는 반면, 단차가 있어 집적화에 불리하다. 또한 전극선 부착시 p-n 접합에 충격을 주어서 암전류가 증가하는 단점이 있다. 이에 반해서 평면형 PD는 p-n 접합이 외부에 노출되지 않으므로 신뢰도 측면에서는 메사형 PD 보다 장점을 가지고 있고 또한 패키징시에 p-n 접합부를 피해서 전극선을 부착할 수 있어서 유리한 점을 가지고 있다. 그러나 p-n 접합을 만들기 위한 확산공정 등에 어려움이 있다. (그림 18)은 메사형 PIN PD의 개념도이다. 전체적인 구조는 n-InP 기판위에 n-InP 층을 형성하고 그 위에 i-GaInAs와 p-GaInAs 층으로 구성되어 있다.

PIN PD에 있어서 잡음특성 및 대역폭 특성의 향상을 위해서는 i-GaInAs 층의 잔류 불순물 농도를 낮추는 것이 우선 중요한데 이는 p-n 접합에서 잔류 불순물 농도가 크면 공핍층의 크기가 작아져 잡음특성 및 양자효율이 나빠지고 정전용량이 커져 대역폭이 감소하기 때문이다.



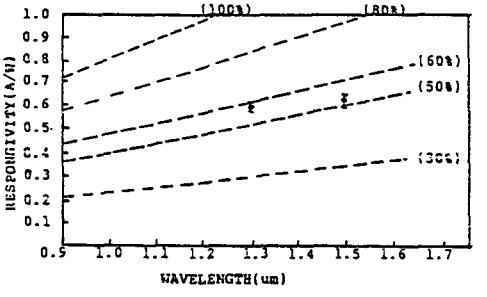
(그림 18) 메사형 GaInAs/InP PIN PD의 개념도

따라서 잔류 도우핑 농도가 낮은 GaInAs 결정을 얻기 위해서는 성장재료에 들어있는 불순물을 없애야 하는데 특히 Si이 중요한 불순물로 작용한다. 이 Si를 제거하는 방법으로는 고온의 수소 분위기 속에서 오랜 시간 동안 baking 하여 주는 방법이 효과적인 것으로 알려져 있는데[8] 700°C 의 온도에서 20시간 성장용액을 baking한후 i-GaInAs 층을 성장함으로써 불순물 농도를 현저하게 낮출 수 있었다. (그림 19)는 직경 80 μm인 PIN PD의 C-V 측정 결과로서 5V 바이어스 상태에서 정전용량은 0.36pF 이었고 이로부터 캐리어 농도가 $3\times10^{15}/cm^3$ 정도임을 알 수 있다.



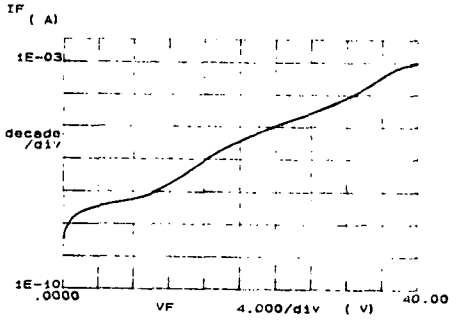
(그림 19) $1/C^2$과 인가된 역전압의 상관관계

(그림 20)은 제작된 GaInAs/InP PIN 광검출기의 1.3μm 및 1.5μm 에서의 양자효율을 나타낸다. 측정된 효율은 50~60% 정도로 i-GaInAs 층의 두께가 공핍층을 형성하기에 충분한 것을 알 수 있다. 양자효율을 향상시키기 위해서 보통 PD의 표면에 무반사막을 증착하며 이 방법으로 20~30% 정도의 양자효율의 증가를 기대할 수 있다.



(그림 20) PIN PD의 파장에 따른 양자효율 특성

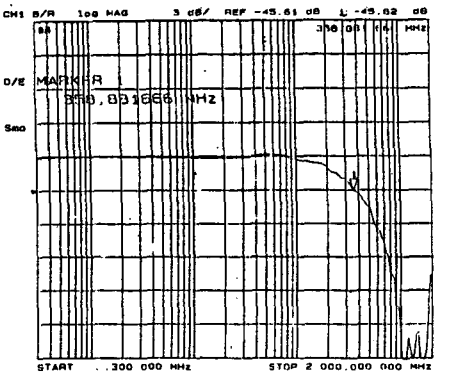
(그림 21)은 직경 80μm인 GaInAs/InP PIN 광검출기의 역바이어스 전압에 따른 누설전류의 특성 곡선이다. 통상의 동작 조건인 −5V 역 바이어스에서 누설전류가 50nA로 세계적인 수준인 ~20nA와 비교할 때 아직 개선의 여지가 있다. 누설전류의 원인은 표면 누설전류와 GaInAs 결정내의 trap에 의한 생성 재결합에 의한 누설전류의 합으로 생각할 수 있다. 우리의 경우



(그림 21) PIN PD의 역 바이어스에 따른 암전류 특성

제작된 광검출기의 구조가 표면이 InGaAs 층으로 밴드갭이 작고 또한 유전체 보호막이 없기 때문에 표면상태에 의한 누설전류가 주요인으로 분석된다. 앞으로 GaInAs 층위에 InP window 층과 Si_3N_4 박막을 무반사 막으로 증착함으로써 누설전류의 감소와 양자효율의 증가를 동시에 기대할 수 있다. GaInAs 층위에 InP 층의 성장은 LPE 공정에서는 InGaAs 층의 되녹임 현상[9]때문에 매우 어려우며 OMVPE(Organometalic Chemical Vapor Deposition) 공정에 의해 가능하다.

(그림 22)는 직경 250μm 크기로 제작된 GaInAs/InP PIN PD의 주파수 응답특성곡선으로 3dB 대역폭이 358 MHz 였다. 이때의 병렬 정전용량은 7.5pF으로 상당히 큼에도 불구하고 이것은 565 Mbps 정도의 광통신 수광소자로 충분한 것이다. 그러나 최종 패키징 후에는 다른 기생용량과 인덕턴스 등에 의해 대역폭이 이보다 제한되므로 소자의 직경을 100μm 이하로 줄여 정전용량을 작게 하는 것이 필요하다.



(그림 22) PIN PD의 5V 역 바이어스에서의 주파수 응답특성

4. 검토 및 앞으로의 전망

지금까지 언급한 1.3μm LD및 GaInAs PIN PD의 제특성을 요약하면 <표 1> 및 <표 2>와 같다. 참고로 대표적인 상용시제품의 특성과 565 Mbps 광통신 시스템 응용을 가정하여 발광 및 수광소자의 요구조건을 비교하였다. 1.3μm LD의 경우 집상태에서는 거의 모든 면에서 현재 상용 수준의 결과를 얻고 있으며 565

Mbps 급 광통신 시스템에 적용 가능함을 알 수 있다. 다만 패키징 과정에서 결합 효율을 증가시키는 문제와 신뢰도에 대한 충분한 검증이 필요하다. 결합효율은 공정상의 문제로 그리 큰 문제는 아니라고 본다. PIN 광검출기의 경우도 상용수준과 비교하여 특성상 큰 문제가 없으나 누설전류의 저감과 양자효율을 높이기 위한 무반사막 증착 공정이 남아 있다. 종합하면 통신용 소자는 무엇보다도 고신뢰도를 요구한다는 점을 감안할 때 아직도 신뢰도의 충분한 검증을 위해 노력이 필요하며 이를 위한 연구가 현재 진행중이다.

<표 1> 1.3um BH LD chip 규격 요약

항 목	ETRI	HITACHI	565 Mbps 규격
구조	BH	BH	
Ith	35mA	30mA	
Pth(Ith)	< 0.1mW	-	
변환효율	0.2mW/mA	0.2mW/mA	
항복전압	> 2V	> 2V	
Vf(If=50mA)	1.7V	1.3V	
발진파장편차	0.01um	0.02um	0.02um
파장반치폭	1.2nm	2nm	< 4nm
특성온도	59 K	72 K	
방사각도	24 X 42	20 X 40	
상승하강시간	< 0.5ns	< 0.5ns	< 0.5ns

<표 2> GaInAs PIN PD 규격 요약

	ETRI	상 용 (Fujitsu)	565 Mbps 규격
수광 영역 직경	80um	80um	
양자효율	52%	60%(anti. coating)	> 60%
변조대역폭 (-5V)	-	700 MHz	> 600 MHz
암전류 (-5V)	50 nA	20 nA	< 100nA
정전용량 (-5V)	0.4 pF	1.5 pF	C < 2pF

앞으로 Gbps 이상의 대용량 통신에는 단일파장 LD가 요구되며 DFB LD 및 DBR(Distributed Bragg Reflector) LD[10] 등이 유력하다. 또한 코히런트 광통신에는 파장 선폭이 매우 좁은(<1 MHz) 단일파장 레이저는 필수적이므로 단일파장 LD의 중요성은 매우 크다. 광검출기는 고속화를 위한 PIN-FET의 단일칩 집적화와 고감도 APD(Avalanche Photodiode) 등이 연구개발되고 있다. 당분간은 이와 같은 추세는 유지될 것으로 보이며 공정상의 매우 미세한 문제들이 해결되어 감에 따라 이와 같은 소자들의 양산이 실현되리라고 본다. 응용 측면에서 볼때는 광 CATV, 광 가입자망 나아가서는 광대역 ISDN 등 큰 시장 잠재력을 가지고 있으며 이는 100~600 Mbps 급의 광모듈을 얼마나 저렴한 가격으로 양산 공급할 수 있느냐의 여부가 앞으로 광통신 기술의 대중화를 앞당기는 중요한 판건이 된다고 판단된다.

참고문헌

1. 이만섭외, 표준화 90 Mbps 광통신 시스템 기술전수, ETRI 연구보고서, 1987. 6.

2. 심창섭외, 장파장 광통신 시스템 개발, ETRI 연구보고서, 1988. 12.

3. 이용탁외, 광자공학기술개발, ETRI 연구보고서, 1988. 12.

4. Henry Kressel and J. K. Butler, Semiconductor lasers and Heterojunction LEDs, Academic Press, 1977

5. F. R. Nash et al., "Implementation of the Proposed Reliability Assurance Strategy", AT&T tech. Journal, Vol.64, 809, 1985

6. B. W. Hakki et al., "1.3μm Laser Reliability Determination for Submarine Cable System", AT&T Tech. Journal, Vol.64, 771, 1985

7. 박문호외, "1.3μm InGaAsP/InP 표면 발광형 LED 제작 및 특성", 제4회 파동 및 레이저 학술발표회, 1989. 2.

8. J. D. Oliver et al., "Liquid Phase Epitaxial Growth and Characterization of High Purity Lattice Matched $Ga_xIn_{1-x}As$ on <111> B InP", J. Electron. Materials, Vol.9, 693, 1980

9. H. Ando et al., "InGaAs/InP Seperated Absorption and Multiplication Regions Avalance Photodiode Using Liquid and Vapor Phase Epitaxies", IEEE. JQE, QE-17, 250, 1981

10. Y. Suematsu and S. Arai, "Integrated Optics Approach for Advanced Semiconductor Laser", Proceedings of the IEEE, Vol.75, 1472, 1987