

1.3 μ m 파장의 GaInAsP/InP 표면 발광형 LED의 제작과 특성

The fabrication of the 1.3 μ m GaInAsP/InP surface emitting LED and its characteristics.

박 문호, 오 광룡, 이 용탁
한국전자통신연구소 광전자연구실

ABSTRACT

1.3 μ m surface-emitting GaInAsP/InP LED was fabricated by two-phase supercooling LPE technique. The lattice mismatch of the grown DH wafer was typically 0.03%. The processes involve SiO₂ CVD, lithography, Zn diffusion, lift-off, lapping, annealing, and wire bonding. The fabricated LED shows the optical power of 600 μ W at 70mA driving current, differential resistance of 4 Ω , the f_{3dB} of 35MHz, and the FWHM of 1040 \AA . The peak wavelength of the fabricated LED was at 1.29 μ m(100mA).

1. 서론

LED는 LD에 비해 낮은 광출력, 좁은 대역폭 및 넓은 스펙트럼을 갖는 등의 단점이 있음에도 불구하고 아래의 장점들 때문에 실제로 광통신의 광원으로 널리 사용되고 있다. 첫째, LED의 제조 단가가 LD에 비해 낮으며 구동회로가 간단하다. 둘째, 수명이 LD에 비해 매우 길어서 LD가 상온에서 10⁵ 시간 정도의 수명을 갖는데 비해 LED는 10⁹ 시간 정도의 수명을 갖는다. 셋째, 소자 특성의 온도 의존성이 낮아 악조건에서도 신뢰성 있는 동작을 한다. 넷째, 광섬유와의 결합이 LD에 비해 손쉽다. 한편 InGaAsP/InP LED는 파장의 선택이 용이하여 파장 분할 다중화(WDM) 방식에도 유용하게 사용될 수 있다.

통신용 LED는 그 구조면에서 표면 발광형과 단면 발광형으로 구분된다. 이 두가지 형태의 LED를 비교하면 공기 증으로 방사되는 광출력의 경우 표면 발광형이 단면발광형에 비해 2.5~3배 정도 크며 광섬유와의 결합은 광섬유의 N.A.가 적을 때 (N.A.<2) 단면 발광형이 표면발광형 보다 3배 이상 효율이 좋다. 그러나 N.A.값이 적은 광섬유를 통해 100Mb/s 이상의 통신을 할 때는 단면 발광형 LED가 좋으며 50Mb/s 이하의 낮은 속도로 큰 N.A. 광섬유를 통한 통신의 경우에는 표면발광형이 유리하다. 본 연구에서는 (그림 1)과 같이 한 면만 lithography하는 구조를 택했다. 이는 제작공정의 간단화와 ball lens를 이용하여 결합효율을 향상 시킬 수 있는 장점이 있다.

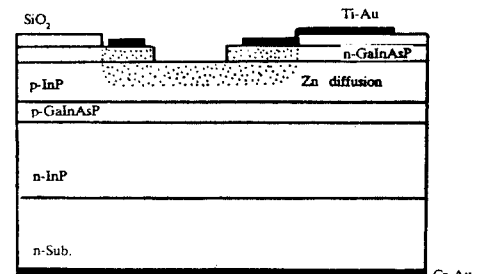


그림 1. GaInAsP/InP DH 구조 LED 의 단면도

2. 표면 발광형 LED의 제작

표면발광형 LED 제작을 위한 DH 웨이퍼의 성장은 단지 활성층의 두께와 doping 농도의 선택이 요구되는 시스템에 따라 다양하게 변화시킬 수 있다. 대체로 높은

출력(수 mW)을 얻기 위해서는 활성층은 doping 하지 않고 두께는 1~1.5 μm 로 하는 것이 적당한 것으로 알려져 있다. 변조대역폭을 높이기 위해 활성층을 $10^{19}/\text{cm}^3$ 까지 doping하고 있으나 상대적으로 출력은 줄어든다.

본 연구에서는 1.3 μm InGaAsP/InP DH 웨이퍼의 성장은 <100> 방향의 S-doped($6\sim 9 \times 10^{18}/\text{cm}^3$) InP 단결정 웨이퍼를 사용하여 이상과냉각법을 이용하여 670 $^{\circ}\text{C}$ 에서 40분간 soaking 한 후 0.6 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 온도를 낮추어가면서 (그림 2)에 나타난 것처럼 $\sim 8\mu\text{m}$ 두께의 n형 InP buffer 층($\sim 5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$) 1.1 μm 두께의 InGaAsP 활성층 ($\lambda=1.3\mu\text{m}$) 2 μm 두께의 P형 InP Clad 층 및 역방향 접합을 형성하기 위한 0.5 μm 두께의 n형 InGaAsP 층을 형성하였다.

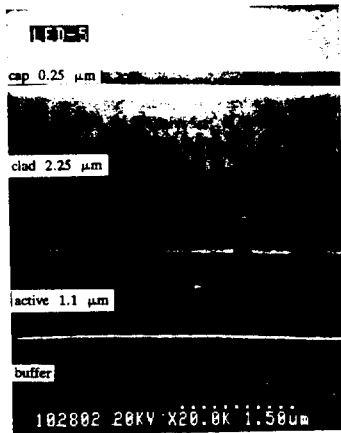


그림 2. 성장된 GaInAsP/InP DH 웨이퍼의 단면 사진

활성층의 성장온도는 630 $^{\circ}\text{C}$ 였으며, soaking 동안 손상된 기판은 20초 동안 In melt로 melt-back 시켰다. 표면 발광형 LED에서 활성층과 이웃층과의 계면 상태가 출력에 많은 영향을 미치므로 적자 부정합도를 최소화하는 것이 중요하다. 본 실험에서 성장된 DH 웨이퍼의 적자 부정합도는 X-ray 회절 분석기를 이용하여 측정하였다. (그림 3)에 나타난바와 같이 InP 기판과 활성층의 Bragg angle의 차는 약 40sec였으며 이는 0.032%에 해당하는 적자 부정합도이고 LED 제작에 필요한 만큼의 적자 정합은 충분히 이루어졌다.

다음의 (그림 4)는 활성층의 doping 양을 변화시키 가면서 PL 파장의 FWHM의 관계를 조사하였다.

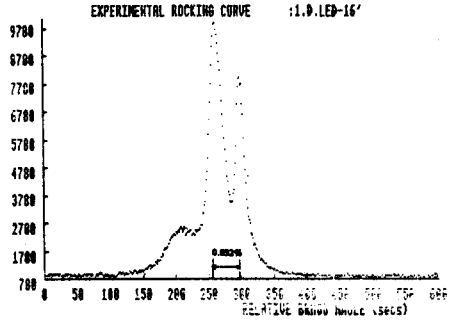


그림 3. GaInAsP/InP LED DH 웨이퍼의 Rocking Curve.

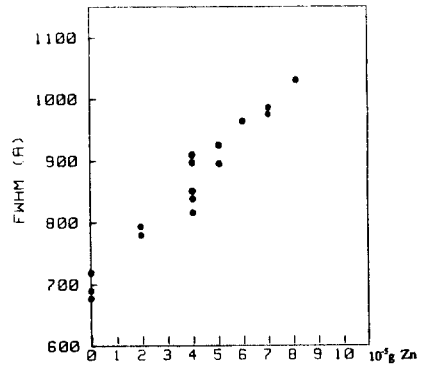


그림 4. In 1g 당 Zn doping 농도에 따른 PL의 FWHM 변화.

활성층에서 방출하는 빛은 에너지 gap이 큰 InP Clad 층을 통과하여 공기 중에 방사하며 빛을 방출하는 부분의 지름은 40, 60, 80, 100, 150 μm 로 하였고 wire bonding을 위한 pad 부분도 거의 동일한 지름으로 하였고 주변 전하용량을 줄이기 위하여 SiO_2 층으로 LED와 주변부분을 격리시켰다. SiO_2 etching, Zn diffusion, lift-off의 각 공정을 위해 3단계의 lithography를 행하였다. Zn diffusion은 10^{-5} Torr의 진공 ampoule속에서 500 $^{\circ}\text{C}$ 에서 3분간 행하였고 lift-off 과정은 S1400-31 포토레지스터로 coating 한후 4분간 developing하였다. SiO_2 와 pad 전극과의 부착력 나빠서 wire bonding 시 문제점을 개선하기 위하여 pad 밑부분의 SiO_2 를 에칭하고 Ti-Au를 400 $\text{Å}/1200\text{Å}$ 정도 증착하였다. lift-off 과정이 끝난 후 150 μm 정도로 lapping 한후 알루미늄으로 표면을 깨끗이 하였다. n형 전극은 Cr-Au로 200 $\text{Å}/1200\text{Å}$ 정도로 증착한 후 최종단계로 450 $^{\circ}\text{C}$ 에서 1분간 annealing을 하였

다. 아래 (그림 5), (그림 6)은 lift-off, wire bonding 사진이다.

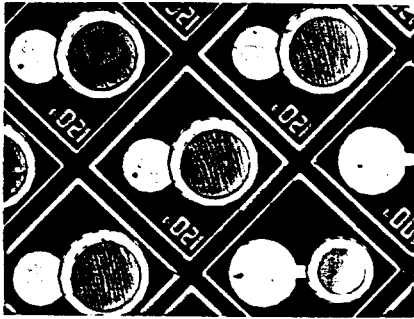


그림 5. lift-off 공정후의 사진.



그림 6. wire-bonding 후의 사진.

3. 제작된 소자의 특성

제작된 표면발광형 LED는 전류 전압 특성 곡선으로부터 cut-in 전압이 0.6Volt, breakdown 전압이 활성층이 doping 되지 않은 경우 -8Volt 였다. 순방향 미분 저항은 4Ω 이었으며, 광출력은 70mA 구동전류에서 $600\mu\text{W}$ 였다. (그림 7)에 나타난 바와 같이 80mA 구동전

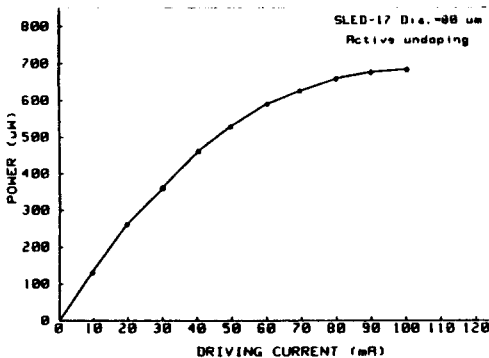


그림 7. LED의 I-L 특성 곡선.

류까지 선형특성을 나타내고 100mA에서 포화 특성을 나타내었다. 변조특성은 활성층이 doping 되지 않은 경우 3dB 변조 대역폭이 35MHz 였으며 (그림 8)은 lightwave component analyzer(HP 8702A)로 측정된 LED의 주파수 특성을 나타낸 것이다. (그림 9)에 나타난 바와 같이 광출력 스펙트럼은 12940Å에서 최대였으며 FWHM은 1040Å이었다. (그림 10)은 출력광의 far field pattern을 나타낸 것이다.

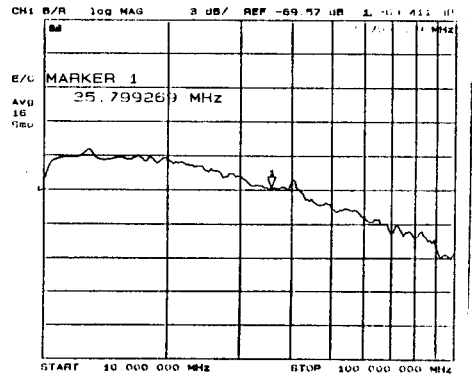


그림 8. LED의 주파수 특성 곡선.

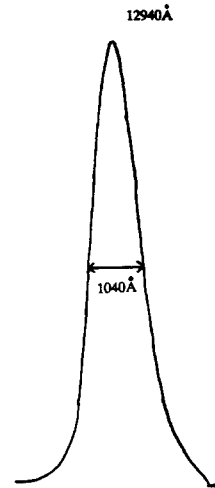


그림 9. 제작된 LED의 출력 Spectrum.

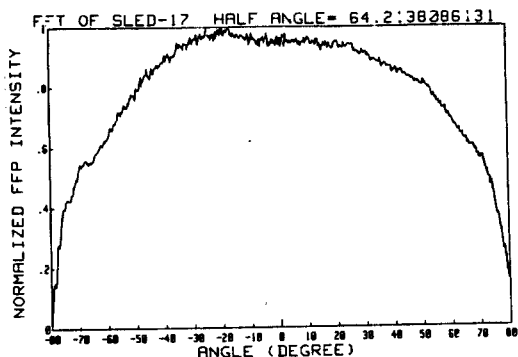


그림 10. 제작된 LED의 Far Field Pattern.

(2) R.H.Saul "Recent Advance in the Performance and Reliability of InGaAsP LED's for Lightwave Communication Systems", IEEE trans. Electron Devices, Vol.ED-30, p.285, 1983.

4. 결론

1.3 μm 파장의 InGaAsP/InP 표면발광형 LED를 제작하였다. LED 방식에 의하여 활성층 두께 1.1 μm 인 DH 웨이퍼를 성장하여 SiO₂ 증착, Zn-diffusion, lift-off 및 ohmic contact 등의 공정을 거쳐 순방향 미분저항 4 Ω , peak 파장 1.29 μm , 70mA에서 600 μW , 그리고 35MHz의 변조폭을 얻었다. 광섭유에 10%의 출력이 결합된다면 단거리 통신용 광원으로 이용될 수 있는 수준이다. 좀 더 고속변조가 가능한 LED를 제작하기 위하여 활성층의 doping 농도조절과 LED 구조에 대한 연구가 필요하다. 본 연구를 수행함으로써 통신용 LED 제작 기술을 확립하였고, 이의 실용화 및 고속 LED의 연구기반을 마련하였다. 앞으로의 실험에서 활성층의 두께와 doping 농도를 바꾸어서 변조대역폭과 출력을 향상시킬 계획이다.

(이 연구는 한국전기통신공사 출연 연구의 일환으로 수행된 것임)

- 참고문헌 -

(1) S.Horiuchi, K.Ikeda, T.Tanaka, and W.Susaki "A New LED Structure with a Self-Aligned Sphere Lens for Efficient Coupling to Optical Fibers", IEEE trans. Electron Devices, Vol.ED-24, p.986, 1977.