InGaAs 도파로형 광다이오드의 암전류에 대한 열 처리 효과에 관한 연구

이봉용, 주한성, 윤일구
연세대학교 전기전자공학과

The Study of Annealing Effect on the Dark Current of InGaAs Waveguide Photodiodes

Bongyong Lee, Hansung Joo, and Ilgu Yun
Yonsei Univ.

Abstract

This paper presents the temperature annealing effect on the dark current of the InGaAs waveguide photodiodes, which are developed for high-speed optical receivers. The interesting experimental phenomena were observed that the dark current is significantly decreased and the breakdown voltage is slightly increased after annealing at 250 ° C whereas the dark current and the breakdown voltage are almost constant after annealing at 200 ° C. Based on the experimental results, the long-term annealing is more effective for the dark current improvement than the conventional curing process.

Key Words : Waveguide Photodiodes, long-term annealing, dark current, optical communication

1. 서 론

최근 InGaAs를 기반으로 한 도파로형 광다이오드가 고속 광수신기 모듈에 폭넓게 사용되고 있다 [1]. 애벌랜치 포토다이오드 같은 기존의 고속 광다이오드들은 소자의 진성영역에서 기인한 저항-캐패시턴스 시간 (RC time) 과 캐리어 천이 시간에 의하여 밴드 폭이 제한된다. 그러나 도파로형 광다이오드는 양자효율 (Quantum efficiency)이 단지 도파로의 길이에 의존하기 때문에 밴드폭 제한의 문제가 발생하지 않는 장점이 있으며, 다른 광소자들과의 집적화에 용이성을 제공한다. 그렇지만 메사구조 (mesa-structured)의 도파로형 광다이오드는 노출된 접합에서의 높은 암전류 특성이 소자의 신뢰성에 큰 영향을 미치고 있다. 도파로형 광다이오드의 암전류 특성 향상이 고속동작과 소자의 신뢰성있는 동작에 중요한 요소이다. 이러한 소자의 신뢰성 향상을 위하여 많은 연구들이 진행되어왔다. Kuhara 등은 폴리이미드 (polyimide)로 패시베이션 (passivation)되어진 p-i-n 광다이오드의 장기간 신뢰성을 통한 암전류 특성을 연구하였으며 [2], Nakamura 등은 InGaAlAs 도파로형 광다이오드의 캐리어 축적 모델을 제안하였다 [3]. 본 논문에서는 도파로형 광다이오드의 암전류에 열처리효과 (annealing effect)가 미치는 영향에 대하여 실험적으로 알아보았다. 먼저 InGaAs 도파로형 광다이오드의 구조가 제작되었으며, 서로 다른 두 가지 온도, 200도 와 250도에서 열 처리 후 암전류와 항복전압의 변화를 전류-전압 특성 측정을 통하여 조사하여 보았다.

2. 소자의 구조

그림 1은 제작되어진 도파로형 광다이오드를 위에서 바라다본 모습을 나타내고 있다.

초기 에피택셜 (epitaxial) 구조는 금속유기 화학기상 증착법 (MOCVD)을 이용하여 성장되었다. 리지 형태 (ridged-type)의 흡수층이 패턴 전의 방법으로 정의되어졌으며, 끝이 좁아지는 형태

(tapered-type) 결합 도파로 영역이 형성되었다. 이 부분은 인입광의 모드를 변화시키는 역할 뿐만 아니라 n-type 컨택(contact) 층의 역할도 한다. 결합 도파로 영역이 만들어 진 후, 입력 광섬유를 결합시키기 위한 광섬유 가이드 부분 (fiber guide section)이 만들어졌다. 이 부분은 600-nm 두께의 InP 층과 50-nm 두께의 InGaAsP (λg=1.24 [㎛])로 이루어져 있다. 마지막으로 폴리이미드 와 질화규소 (Si_3N_4)가 소자의 표면을 보호하기 위하여 패시베이션 되었다. p 형과 n형 전극으로는 Ti/Pt/Au 합금과 Cr/Au 합금이 각각 사용되어 졌다. 전극 형성 공정이후 365˚C에서 1시간동안 회복공정을 수행하였다.

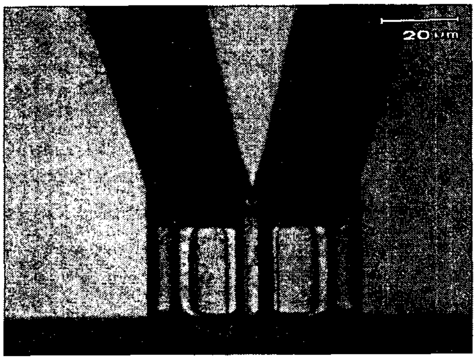
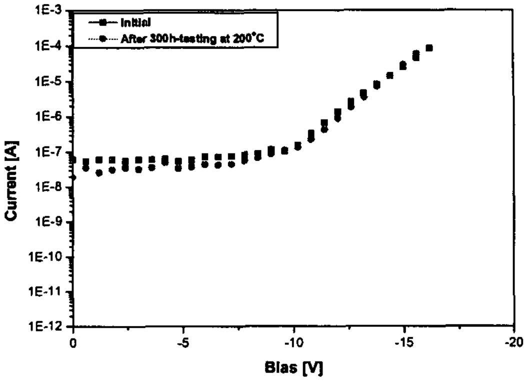


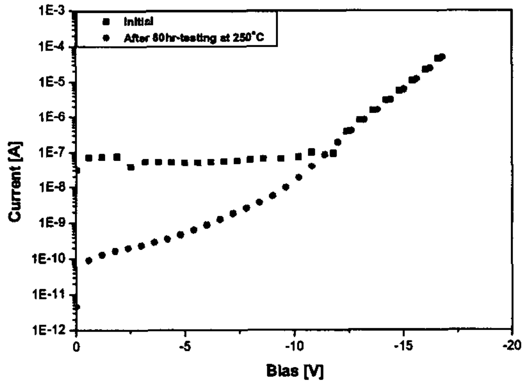
그림 1. 제작되어진 도파로형 광다이오드의 모습.
Fig. 1 Microscopic image of fabricated WGPD.

3. 결과 및 고찰

InGaAs 도파로형 광다이오드에 대하여 서로 다른 두 가지 온도, 200도 와 250도에서 장시간 열처리 테스트를 실시하였다. 3개의 샘플이 각각의 온도 조건의 실험에 사용되어졌다.열처리 실험 중 암전류와 항복 전압들의 특성은 Keithley SMU 236 장비를 이용하여 측정되어졌다. 항복전압은 암전류의 레벨이 100 [㎂]에 도달한 시점의 전압으로 정의되어졌으며, I-V 곡선에서 얻어졌다. 그림 2는 200도와 250도에서 각각 열처리 후 상온에서 측정된 I-V 특성 곡선을 나타내고 있다. 초기 데이터는 380도에서 39초간 회복공정 후 측정 되어진 I-V 데이터를 기준으로 하였다. 결과에서 200도로 300시간동안 열 처리를 한 경우는 전류 레벨이 거의 변하지 않고 일정함을 보이는 반면, 250도에서 80시간동안 열 처리를 한 경우는 암전류의 레벨이 상당히 감소함을 보이고 있다.



(a)

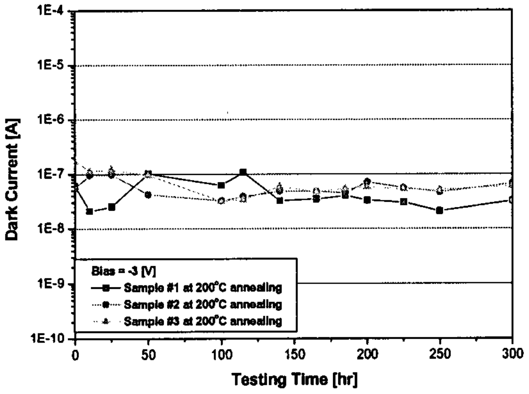


(b)

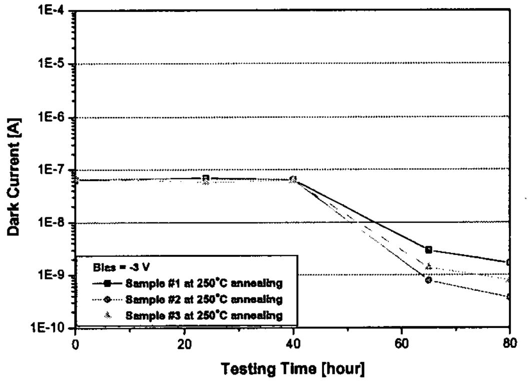
그림 2. 열 처리 공정후의 암전류 특성 (a) 200 (b) 250도.
Fig. 2. Dark current characteristics after aneelaing process (a) 200 (b) 250 ℃.

그림 3은 200도와 250도에서 열 처리 후 나타나는 암전류의 변위를 보여주고 있다. 샘플의 갯수가 작음에도 불구하고, 결과들은 각각의 샘플의 경우에 대하여 같은 경향성을 보이고 있다. 그림 3(a)의 경우 200도의 열 처리공정 동안 암전류는 일정한 레벨을 유지하고 있으나, 250도에서 열 처

리 공정을 한 경우에는 60시간 이후에 암전류의 급격한 감소를 보이고 있다. 그림 4는 200도와 250도에서의 도파로형 광다이오드의 항복 전압의 변위에 대하여 나타내고 있다. 250도에서 80시간동안 열 처리를 한경우는 60시간이후에 항복전압이 약간 증가한 반면, 200도에서 300 시간동안 열 처리를 한 경우의 항복전압은 거의 일정한 값을 유지하고 있다.



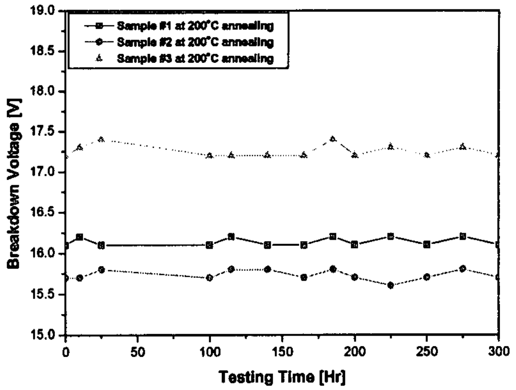
(a)



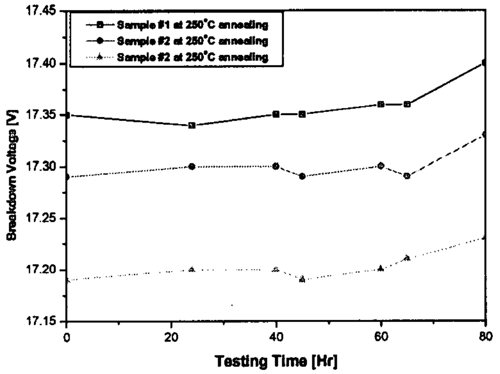
(b)

그림 3. 열 처리 공정후의 암전류 변위 (a) 200도 (b) 250도

Fig. 3 Dark current characteristics variation after annealing process (a) 200 (b) 250 ℃



(a)



(b)

그림 4. 열 처리 공정후의 항복전압의 변위 (a) 200도 (b)250도

Fig. 4 Brekdown voltage characteristics variation after annealing process (a) 200 (b) 250 ℃

실험 결과들을 바탕으로, 암전류 감소에 대한 가능한 원인을 제시하여 보면 250도의 열에너지에 의하여 폴리이미드 패시베이션 또는 패시베이션 층과 반도체 계면에 존재하는 포획 중심의 수 (trap centers)들이 감소되면서 소자의 표면 누설 전류를 줄이는 것으로 사료되어지며, 또한 노출되어져 있는 표면 접합의 포획 중심 수들의 감소는 이로 인한 이온화 과정의 감소를 수반하여 항복전압을 증가시키게 된다.

4. 결 론

본 논문에서는 장시간 열 처리 효과가 InGaAs로 만들어진 도파로형 광다이오드 소자 성능에 미치는 영향에 대하여 실험적으로 살펴 보았다. 도파로형 광다이오드가 제작되어졌으며 200도와 250도에서 각각 실험이 진행되었다. 250도에서의 장시간 열 처리 공정 후 암전류는 상당히 감소하고, 항복전압은 약간 증가되어진 반면, 200도에서의 열처리 공정 후의 암전류와 항복 전압은 거의 일정하게 유지되었다. 이러한 현상은 패시베이션 층에서의 포획 중심들의 감소로 설명되어질 수 있다. 실험결과를 바탕으로 저온에서의 열처리 공정이 기존의 회복공정을 적용한 경우보다 암전류의 특성 향상에 더욱 효과적이라는 것을 알 수 있다.

참고 문헌

[1] 이상렬 , 이서구 , 김의승 , 오창훈 , 이봉용 , 명재민 , 윤일구, "유전 알고리즘을 이용한 다중 양자 우물 구조의 갈륨비소 광수신소자 공정변수의 최적화", 한국전기전자재료학회, Vol.14, No.3, pp. 241, 2001

[2] Hitoshi Nakamura, Masato Shishikura, Shigehisa Tanaka, Yasunobu Matsuoka, Tsunao Ono, and Shinji Tsuji, "Highly reliable operation of InGaAlAs waveguide photodiodes for optical access network network systems" , Jpn. J. Appl. Phys., Vol.37, Part1, No. 3B, pp.1427-1431, March 1998

[3] Y. Kuhara, H. Terauchi, and H. Nishizawa, "Reliability of InGaAs/InP long-wavelength p-i-n photodiodes passivated wit polyimide thin film , IEEE Journal of lightwave technology", Vol. LT-4, No. 7, pp.933-937, July 1986