

도파로형 광검출기의 제작

Fabrication of Waveguide Photodiode

전병욱, 양승기, 강화영, 이도영, 범진욱*, 황성민**

삼성전자 T/N 총괄 통신연구소 광전자랩, *서강대학교 전자공학과, **한양대학교 전자통신공학과
ikarie@samsung.com

광통신 분야에서 장파장 p-i-n 광 검출기는 현재와 미래의 양자 회로 설계나 통신, 측정 시스템에 핵심 부품으로 인정 받아왔다. 특히, 소자의 측면에서 입사되어 오는 광 신호를 검출하여 전기신호로 바꾸어주는 구조의 검출기는 빠른 속도로 신호를 처리하면서도 높은 감도를 가질 수 있어 큰 관심의 대상이 되어 왔다. 그러나 이와 같은 훌륭한 성능에도 불구하고, 소자 제작의 어려움과 낮은 신뢰성 등은 소자의 유용성에 의심을 가지게 하는 역할을 하였다.⁽¹⁾

본 논문은 위와 같은 어려움을 극복한 측면 입사용 광 검출기의 제작에 대한 내용으로 이루어져 있다. 우리가 제작한 광 검출기는 1.25 ~ 10Gb/s의 대역폭을 요구하는 시스템에 적합하며, 수동 조절에 의해 광 패키징이 가능해 광소자의 가장 큰 문제점이었던 높은 가격을 충분히 낮추는 데 기여할 수 있다.⁽²⁾

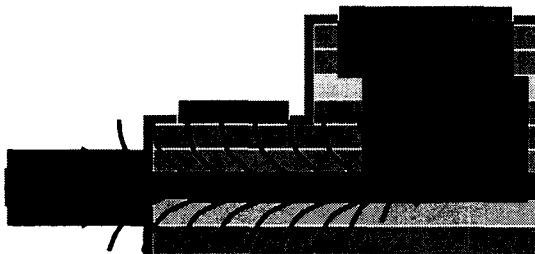


그림 1 측면 입사 광 검출기의 작동 원리

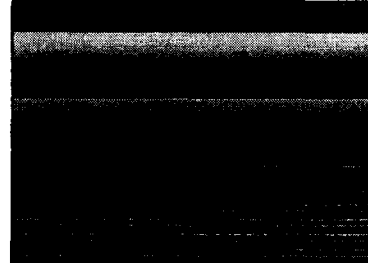


그림 2 성장 시킨 소자 구조

그림 1은 측면 입사 광 검출기의 작동원리를 도식적으로 나타낸 것이다. 변조된 광 신호는 소자의 측면에서 입사되어 도파로를 따라 일정 거리를 이동한 후 흡수층을 가지고 있는 반도체 구조로 안내되어 전자 신호로 바뀌게 된다. 그림 1의 소자 구조를 좀 더 세밀하게 표현한 것이 그림 2이다. 우리의 waveguide photodiode (WGPD)는 반도체 특성을 가지고 있는 diode 부분과 빛을 안내하는 waveguide 부분으로 나누어져 있다. waveguide 부분은 굴절률과 두께를 조절하여 입사된 빛이 일정 시간과 거리를 지나면서 대부분 위쪽(diode 부분)으로 진행할 수 있게 설계되어 있다.

그림 3은 제작이 완료된 소자의 3차원적인 모습을 도식화한 것이다. 그림 1과 비교하면 이해하기 어렵지 않을 것이다. 그림 2와 그림 3을 비교해보면, 두 번의 mesa 식각 과정을 통해 공정이 진행된다는 것을 알 수 있다. 첫 번째 식각 공정으로 그림 3에서 보여 지는 photo diode 부분을 형성시킨다. 이 공정은 반도체 구조의 조절을 통하여 저항과 capacitance와 같은 전기적인 특성들을 결정지어준다. 두 번째 식각 공정으로 waveguide 부분을 형성시킨다. 이 부분은 측면에서 들어온 빛을 원하는 방향으로 전파시키고 집중시켜서 높은 수신감도에 이르게 하는 역할을 한다. 따라서 위와 같은 식각 공정은 소자의 특성을 결정짓는 중요한 역할을 하고, 더불어 신뢰성에도 큰 영향을 미치게 된다.

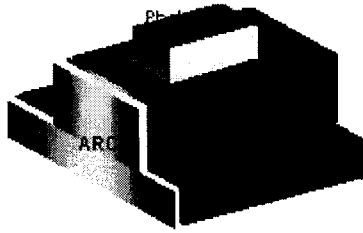


그림 3 완성된 소자의 형태

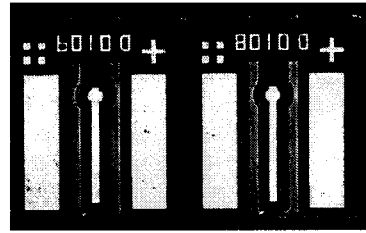


그림 4 Fab. 공정 후의 소자

그림 3이 개념적인 모습이라면 그림 4는 그림 2의 wafer를 가지고 공정을 진행한 후에 찍은 소자의 사진이다. 두개의 단위 소자를 찍은 것인데, 각각의 중앙에 긴 막대기 모양의 부분이 그림 3의 소자 구조이다. 이 상태에서 빛은 사진의 아래 부분으로 입사되어 진다.

그림 4의 시료를 가지고 측정한 결과 수신 감도는 무반사 코팅을 했을 경우 $-5V$ 에서 $\sim 1.0(A/W)$ 임을 알 수 있었다. 이 값은 수직 입사 광 검출기의 수신 감도와 거의 비슷한 것으로 측면 입사 소자임을 감안한다면 대단히 우수한 결과라고 말할 수 있다. Capacitance는 $-5V$ 에서 $\sim 0.6pF$ 이 측정되었다. 이 값으로 미루어 본다면 2.5 Gbps의 시스템에 적용하는 것은 무리가 없으나 아직 10Gbps 시스템에는 충분하지 않아 보인다. 이를 보완하기 위해 현재 소자의 크기를 약간 줄이고 공정을 개선하는 노력을 하고 있다.

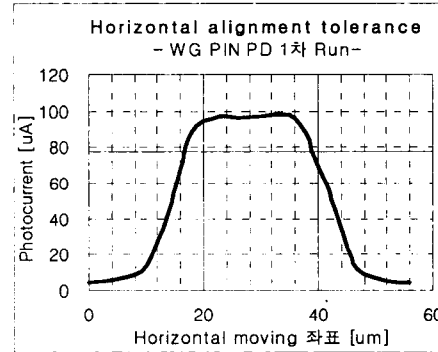
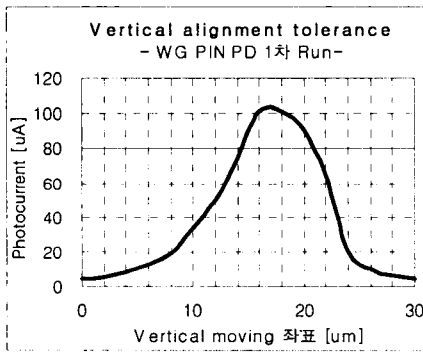


그림 5 완성된 소자의 수직, 수평방향 공차 측정

그림 4의 시료를 가지고 수평방향과 수직 방향의 공차를 측정한 것이 그림 5이다. 왼쪽에 보이는 것이 수직 방향에 대한 것이고 오른쪽의 것이 수평 방향에 대한 것이다. 위와 같은 공차는 광 패키징 과정에서 중요한 논의 사항이 되며, 소자에서 가능한 한 넓은 범위의 공차를 실현하는 것이 패키징 공정을 단순화하고 수율을 높이며 가격을 낮추는 데에 있어서 큰 효과를 발휘한다. 우리의 소자는 1dBm 손실을 기준으로 수직 방향은 $\pm 3.5 \mu m$ 수평방향은 $\pm 11 \mu m$ 이상의 공차 허용범위를 가지고 있다. 이 값은 저가형 수동 직접을 생각하더라도 충분한 허용 범위로 인정받고 있다.

참고문헌

1. K. Kato, "Ultrawide-band/high-frequency photodetectors", IEEE Trans. Microwave Theory TEch., vol. 47, pp. 1265-1281, July 1999.
2. V. Magnin et al, "Design, optimization, and fabrication of side-illuminated pinphotodetectors with high responsivity and high alignment tolerance for 1.3- and 1.5-um wavelen호 use", IEEE Trans. J. Lightwave TEch., vol. 20, No. 3, pp. 477-488, Mar 2002.