

Red Light Optics용 고성능 Si Photodiode의 설계와 제작

김윤희, 이지현, 강현구, 이상열, 김장기, 장지근

단국대학교 전자공학과

(E-mail:semicgk@anseo.dankook.ac.kr)

Design and Fabrication of a High Performance Si Photodiode for Red Light Optics

Yun Hee Kim, Jee Hyun Lee, Hyun Gu Kang, Sang Yeoul Yi

Chang Ki Kim, Gee Keun Chang,

Dep. of Electronics Engineering, Dankook University

1. 서론

최근 멀티미디어 산업이 발달함에 따라 디지털 시스템 사이클 고신뢰성, 고속으로 상호 연결시켜주는 optical link의 사용이 증가되고 있다^[1,2]. optical link는 transmitter, receiver 및 광섬유로 구성되며, 광섬유는 대량 생산성과 저가격화를 고려하여 중심파장이 660nm~670nm인 APF(all plastic fiber)를 사용한다. digital audio signal(maximum data rate: 6Mb/s)를 APF(diameter: 970/1000 μ m)로 전송했을 때, 이의 수신을 위해서는 적색영역의 중심파장 부근에서 고속·고감도 특성을 갖는 photodiode의 개발이 중요하다.

본 연구에서는 Si pin 구조^[3,4]를 이용하여 낮은 암전류, 고감도, 고속특성을 갖는 red light optics용 광검출기를 설계·제작하고 이의 전기·광학적 특성을 조사하였다.

2. Photodiode의 구조설계

Photodiode가 디지털 광신호에 대해 높은 변별력과 빠른 신호응답을 나타내기 위해서는 낮은 암전류, 높은 광전류 그리고 낮은 접합 커패시턴스의 특성을 가져야 한다.^[5]

이를 위해 photodiode의 접합면적은 가능한 작아야 하며 입사광은 충분히 넓은 전계영역에서 대부분 흡수되어야 한다. 본 연구에서는 그림 1과 같이 광이 입사되는 면의 p'-shallow diffusion 영역을 그물망(web) 형태로 나타내어 유효 접합면적을 줄이고 진성층의 공간전하 영역을 수평적으로 확장시킨 새로운 Si pin 구조를 설계하였다. 설계된 구조에서 금속-반도체 접촉주위의 p+-deep diffusion 영역은 표면 누설전류를 방지하기 위한 guard ring 역할을 수행한다. 그림 1의 구조에서 고리모양의 상부전극 안쪽을 수광면적으로 볼 때 수광면적의 반경은 250 μ m로 나타나며, 수광부분의 표면상에는 광반사 방지막이 설치된다.

3. 제작 공정

n'(111) Si 웨이퍼상에 약 18~19 μ m 두께의 진성 에피텍셀층($\rho \approx 60\Omega\text{-cm}$)을 형성하고 고온로에서 열산화법으로 약 6000Å 두께의 SiO₂를 성장시켰다. 이후 Boron Solid Source(GS126)^[6]를 사용하여 약 2 μ m 접합깊이의 p'-deep diffusion 영역을 형성하고, 이어서 약 0.5 μ m 접합깊이의 p'-shallow diffusion 영역을 형성하였다. p'-deep diffusion 영역은 금속과 반도체간에 ohmic contact을 형성하고 표면누설전류에 대한 guard-ring 역할을 수행한다. 다음으로 광이 입사되는 창구를 개방하고 광반사 방지막(antireflection layer)으로 약 1000Å 두께의 SiO₂층을 성장시켰다. 이후 금속-반도체 접촉창구를 개방하고, Al 금속을 진공증착시켜 소자의 전극을 형성하였으며,

Al과 Si 계면 사이의 저저항 접촉을 위해 500°C에서 5분간 alloy 공정을 수행하였다. 그림 2는 제작된 소자의 단면구조를 보여주고 있다.

4. 결과 및 고찰

제작된 소자를 그림 3과 같이 투명 packaging하고 housing을 이용하여 전기·광학적 특성을 조사하였다. 그림 4는 photodiode의 전기·광학적 특성을 측정하기 위한 시스템 블록도이다. I-V 특성과 C-V 특성의 측정에는 각각 HP4145B와 HP4280A 장비를 이용하였다. photodiode에 입사되는 광세기는 TODX 270(Thoshiba, peak wavelength: 660nm)의 입력전압(V_{in})과 optical fiber의 길이에 따라 조절된다. 그림 5는 $V_{in}=5V$ 에서 transmitter단으로 부터 방출된 빛이 2m 길이의 APF를 통해 photodiode에 입력되는 optical spectrum을 나타내고 있다. 그림 6은 제작된 photodiode의 C-V 특성이며, 그림 7은 여러가지 입력광 세기에서 I-V 특성이다. C-V 측정 결과, 소자의 커패시턴스 값은 $V=-5V$ 에서 약 6pF로 나타났으며, 이는 이론적 pad 커패시턴스($\sim 2pF$)와 접합 커패시턴스($\sim 4pF$)의 합과 거의 일치를 이루고 있다.

photodiode의 응답속도는 주로 캐리어의 전달시간과 RC 시상수에 의해 제한되는데, 제작된 소자의 경우 전계영역을 통한 캐리어의 전달과 낮은 접합 커패시턴스를 고려하면 적절한 부하 조건에서 충분히 빠른 응답속도를 기대할 수 있다. 표 1은 transmitter의 입력전압이 $V_{in}=0V, 3V, 4V, 5V$ 일 때 APF의 길이에 따라 photodiode에 입사되는 광전력과 이에 따른 소자의 전기·광학적 특성을 나타내고 있다.

표 1의 I-V 측정결과를 살펴보면, 제작된 소자의 암전류는 -5V 바이어스 아래에서 약 180pA 정도로 나타나고 있다. 또한 $V_{in}=5V$ 로 광신호가 입력될 때 photodiode의 출력전류와 감도특성은 -5V의 동작전압에서 APF의 길이가 1m일 때 각각 1.22 μA 와 0.55A/W로, APF의 길이가 2m일 때 각각 0.79 μA 와 0.49A/W로 나타나고 있다. APF의 길이에 따른 출력전류와 감도의 저하는 신호전송 과정에서 optical attenuation과 spectrum 변화에 기인하는 것으로 판단된다.

5. 결론

Si pin 구조로 APF optical link용 photodiode를 설계·제작하여 그 특성을 분석하였다. 제작된 소자는 금속-반도체 접촉 주위에 p' guard-ring을 가지며, 광이 입사되는 수광면에 그물망 모양의 p' -shallow diffusion을 실시하여 유효접합면적을 줄이고 진성층의 전계영역을 수평적으로 확장한 새로운 구조이다. 제작된 소자는 -5V의 동작전압에서 낮은 접합 커패시턴스($C_j \approx 4pF$)특성과 디지털 광신호 전송시 낮은 암전류($I_d \approx 180pA$) 및 높은 광신호전류(출력전류: 1.22 μA , 감도: 0.55A/W at $V_{in}=5V$ and $L_{APF}=1m$)특성을 나타내었다. 이에 따라 본 연구에서 제작된 소자는 빠른 응답속도와 우수한 신호분리 능력($I(1-state)/I(0-state) > 10^3$)을 나타내고 있으므로 약 660~670nm의 중심파장을 갖는 red light optics 응용에서 광신호 검출에 적합하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

표 1. 입사광력과 소자의 전기·광학적 특성

Table 1. Optical input powers and optoelectrical characteristics of the fabricated device.

transmitter input voltage (V_{in})	optical input power		electro-optical characteristics($V=-5V$)			
			출력전류		감도(A/W)	
	$L_{APF}=1m$	$L_{APF}=2m$	$L_{APF}=1m$	$L_{APF}=2m$	$L_{APF}=1m$	$L_{APF}=2m$
0V	0W	0W	180.0pA	180.0pA	-	-
3V	380nW	300nW	164.4nA	75.03nA	0.43	0.25
4V	1.65 μ W	1.2 μ W	881.9nA	562.6nA	0.53	0.47
5V	2.2 μ W	1.6 μ W	1.221 μ A	787.8nA	0.55	0.49

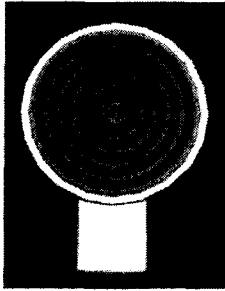


그림 1. 설계된 photodiode의 구조

Fig. 1. The designed pattern of photodiode.

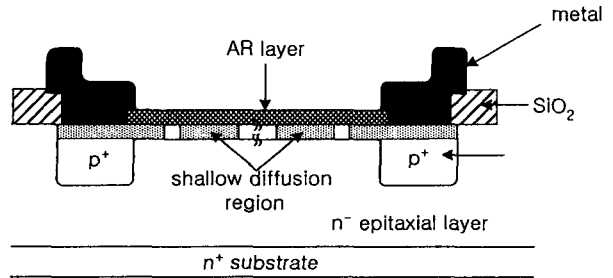


그림 2. 제작된 소자의 단면구조

Fig. 2. Cross sectional view of the fabricated device.

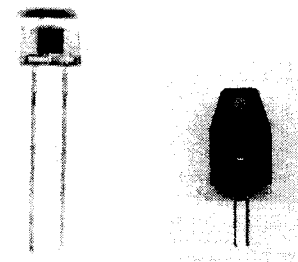


그림 3. 패키징된 photodiode와 housing의 사진

Fig. 3. Photograph of the packaged photodiode and its housing.

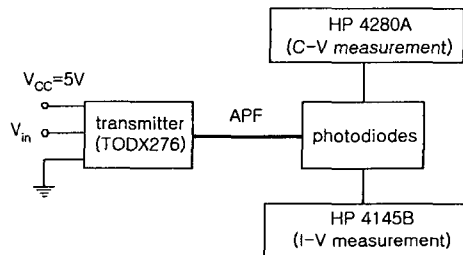


그림 4. 측정시스템 블록도

Fig. 4. Block diagram of the measurement system.

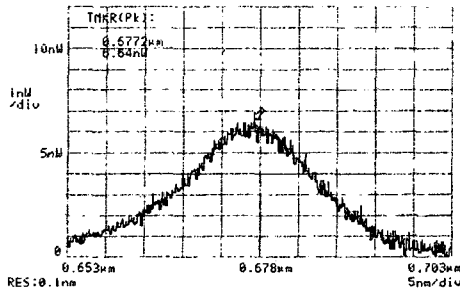


그림 5. 입력광 스펙트럼($V_{in}=5V$ APF length=2m)

Fig. 5. Incident optical spectrum($V_{in}=5V$ APF length=2m).

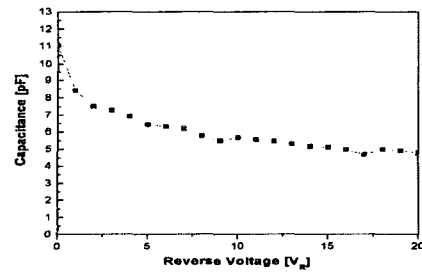
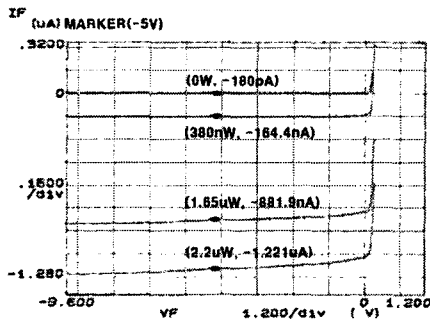
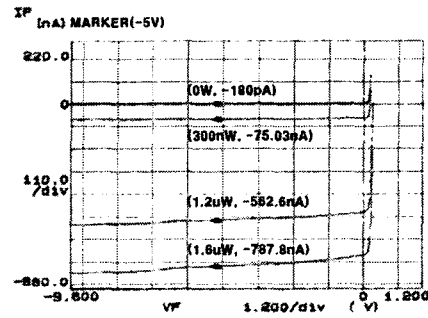


그림 6. 커패시턴스-전압 특성

Fig. 6. Capacitance-voltage characteristics.



(a)



(b)

그림 7. 전류-전압 특성 (a) APF=1m (b) APF=2m

Fig. 7. Current-voltage characteristics.(a) APF=1m and (b) APF=2m.

참고 문헌

1. Li, T., "Lightwave Communication", Phys. Today, 24(1985).
2. Fiber Optic Device Data Book, Thoshiba, (1994).
3. Melchior, H., "Detector for Lightwave Communication", Phys. Today, 32(1977).
4. I. J. Baul and K.C. Gupta, "Design of Loaded-line p-i-n Diode Phase Shifter Circuits", IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, MTT-28(3), (1980).
5. Edward S. Yang, Microelectronic Devices, Mcgraw-Hill Book Com, (1998).
6. J. J. Steslow, J. E. Rapp and P. L. White, "Advances in Solid Planar Dopant Sources for Silicon", Solid State Technology, 18(1), (1975).