

적색 중심 Optical Link용 Si pin Photodetector의 설계 및 제작

장지근 · 김윤희 · 이지현 · 강현구 · 이상열

단국대학교 전자공학과

Design and Fabrication of a Si pin Photodetector with Peak Spectral Response in the Red Light for Optical Link

Gee-Keun Chang, Yun-Hee Kim, Ji-Hyun Lee, Hyun-Gu Kang and Sang-Yeoul Yi

Dept. of Electronics Engineering, Dankook University, Cheonan, Chungnam, 330-714, Korea

초 록: 새로운 구조의 APF optical link용 Si pin photodetector를 제작하고 그 특성을 분석하였다. 제작된 소자는 금속-반도체 접촉주위에 p⁺-guard ring 구조와 광이 입사되는 수광면에 그물망 모양의 얇은 p⁺-확산영역을 갖는다. 제작된 소자의 전기·광학적 특성을 -5 V의 동작전압에서 측정한 결과, 접합 커패시턴스와 암전류는 각각 4 pF와 180 pA로 나타났으며 광신호 전류와 감도특성은 670 nm의 중심파장을 갖는 2.2 μW의 입사광 전력 아래에서 각각 1.22 μA와 0.55 A/W로 나타났다. 제작된 소자는 650~700 nm의 파장영역에서 최대 spectral response를 보이고 있으며 낮은 접합 커패시턴스와 우수한 신호분리능력으로 인해 red light optics 응용에서 광신호 검출에 적합하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract: We have fabricated and evaluated a new Si pin photodetector for APF optical link. The fabricated device has the p⁺-guard ring around the metal-semiconductor contact and the web patterned p⁺-shallow diffused region in the light absorbing area. From the measurements of electro-optical characteristics under the bias of -5 V, the junction capacitance of 4 pF and the dark current of 180 pA were obtained. The optical signal current of 1.22 μA and the responsivity of 0.55 A/W were obtained when the 2.2 μW optical power with peak wavelength of 670 nm was incident on the device. The fabricated device showed the maximum spectral response in a spectrum of 650~700 nm. It is expected that the fabricated device can be very useful for detecting the optical signal in the application of red light optics.

1. 서 론

최근 멀티미디어 산업이 발달함에 따라 디지털 시스템 사이를 고신뢰성, 고속으로 상호 연결시켜주는 optical link의 사용이 증가되고 있다.¹⁻³⁾ Optical link는 'electrical wire'에 비해 단위시간에 많은 data를 전송할 수 있으며 잡음에 대한 저항특성이 우수하다.⁴⁾ Optical link는 transmitter, receiver 및 광섬유로 구성되며, 광섬유는 대량 생산성과 저가격화를 고려하여 중심파장이 660~670 nm인 APF(all plastic fiber)를 사용한다. Digital audio signal (maximum data rate : 6 Mb/s)를 APF (core/clad diameter : 970/1000 μm)로 전송했을 때, 이의 수신을 위해서는 적색영역의 중심파장 부근에

서 고속·고감도 특성을 갖는 광다이오드의 개발이 중요하다.

본 연구에서는 새로운 Si pin 구조⁵⁻⁶⁾를 설계하여 낮은 암전류, 고감도, 고속특성을 갖는 red light optics용 광다이오드를 제작하고 이의 전기·광학적 특성을 조사하였다.

2. 구조설계

광다이오드(photodiode)가 디지털 광신호에 대해 높은 감도와 빠른 신호응답을 나타내기 위해서는 낮은 암전류, 높은 광전류, 그리고 낮은 접합 커패시턴스의 특성을 가져야 한다.⁷⁾ 이를 위해서 photodiode의 접합면

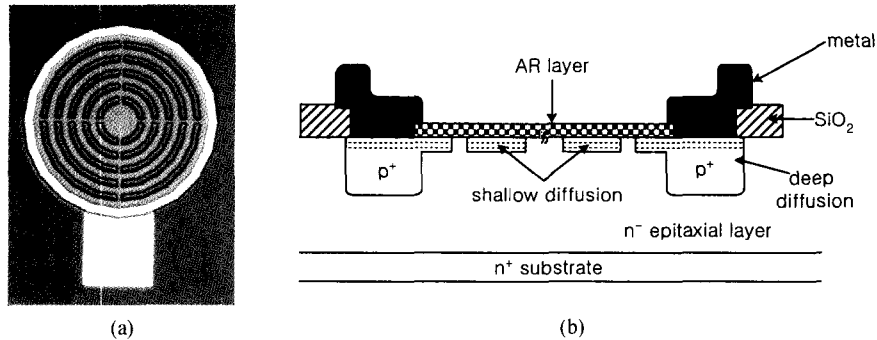


Fig. 1. The structures of photodiode; (a) top view, (b) cross sectional view.

적은 가능한 작아야 하며 입사광은 충분히 넓은 전계영역에서 대부분 흡수되어야 한다. 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 광이 입사되는 면인 p⁺-shallow diffusion 영역을 그물망(web) 형태로 나타내어 유효접합면적을 줄이고 진성층의 공간전하 영역을 수평적으로 확장시킨 새로운 Si pin 구조를 설계하였다. 설계된 구조에서 금속-반도체 접촉주위의 p⁺-deep diffusion 영역은 표면 누설 전류를 방지하기 위한 guard ring 역할을 수행한다. Fig. 1의 구조에서 고리모양의 상부전극 안쪽을 수광면적으로 볼 때 수광면적의 직경은 500 μm로 나타나며 수광면상에는 광반사 방지막(SiO₂)이 설치된다.

3. 제작공정

n⁺(111) Si 웨이퍼상에 약 18~19 μm 두께의 진성 에피텍셜층($\rho \approx 60 \Omega\text{-cm}$)을 형성하고 고온로에서 열산화법으로 약 6000 Å 두께의 SiO₂를 성장시켰다. 이후 Boron Solid Source (GS126)⁸⁾를 사용하여 약 2 μm 접합깊이의 p⁺-deep diffusion 영역을 형성하고, 이어서 약 0.5 μm 접합깊이의 p⁺-shallow diffusion 영역을 형성하였다. p⁺-deep diffusion 영역은 금속과 반도체간에 ohmic contact을 형성하고 표면누설전류에 대한 guardring 역할을 수행한다. 다음으로 광이 입사되는 창구를 개방하고 광반사 방지막(antireflection layer)으로 약 1000 Å 두께의 SiO₂층을 성장시켰다. 이 후 금속-반도체 접촉창구를 개방하고, Al 금속을 진공증착시켜 소자의 전극을 형성하였으며, Al과 Si 계면 사이의 저저항 접촉을 위해 500°C에서 5분간 alloy 공정을 수행하였다.

4. 결과 및 고찰

제작된 소자를 Fig. 2와 같이 투명 packaging하고

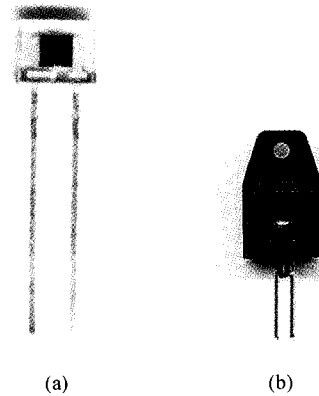


Fig. 2. Photographs of (a) the packaged photodiode and (b) its housing.

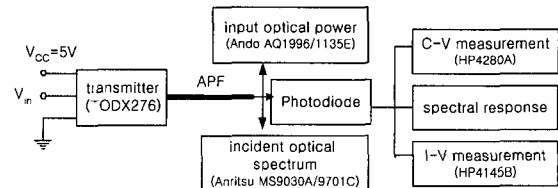


Fig. 3. Block diagram of the measurement system.

housing을 이용하여 전기·광학적 특성을 조사하였다.

Fig. 3은 photodiode의 전기·광학적 특성을 측정하기 위한 시스템 블록도이다. 전류-전압(I-V)특성과 커패시턴스-전압(C-V)특성 측정에는 HP4145B와 HP4280A 장비를 이용하였으며, photodiode에 입사되는 빛의 세기와 spectrum의 측정에는 Ando AQ1966/1135E optical sensor/power meter와 Anritsu MS-9030A/9701C optical spectrum analyzer를 이용하였다.

Photodiode에 입사되는 광세기 is transmitter (TODX-276, peak wavelength: 670 nm)의 입력전압 (V_{in})과

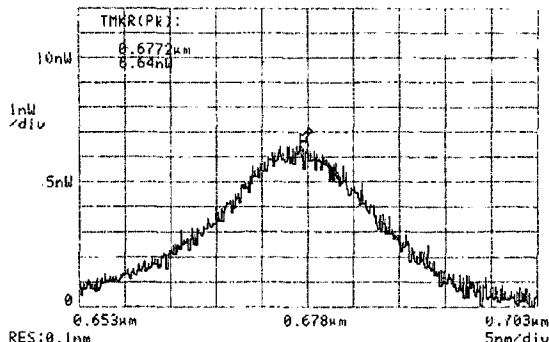


Fig. 4. Incident optical spectrum ($V_{in}=5$ V).

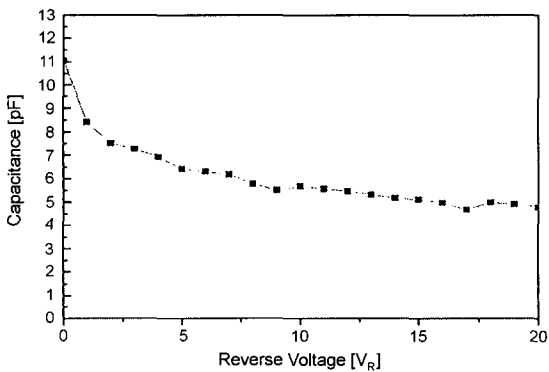


Fig. 5. Capacitance-voltage characteristics.

APF optical fiber의 길이에 따라 조절된다.

Fig. 4는 $V_{in}=5$ V에서 transmitter단으로부터 방출된 빛이 APF를 통해 photodiode에 입력되는 optical spectrum을 나타내고 있으며, Fig. 5는 제작된 photodiode의 C-V 특성이다.

Fig. 4에서 APF optics에 이용되는 광신호 스펙트럼은 약 670 nm의 중심파장으로 부터 ± 30 nm범위내에 분포하고 있음을 볼 수 있다. 이에 따라 광신호 입력시 높은 출력전류를 얻기 위해서는 photodiode가 약 650 ~ 670 nm범위에서 maximum spectral response를 갖도록 설계·제작되어야 한다. Fig. 5의 C-V측정 결과, 소

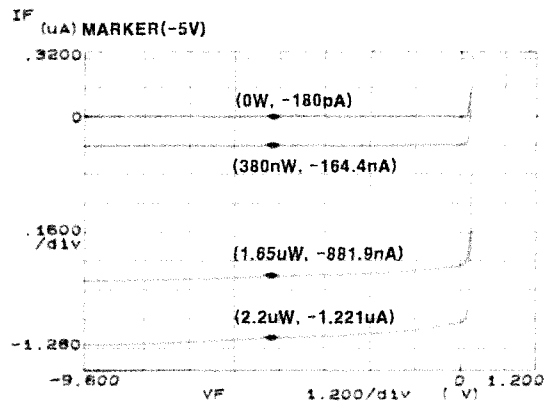


Fig. 6. Current-voltage characteristics according to various optical powers through the APF length of 1 m.

자의 커패시턴스 값은 $V=-5$ V에서 약 6 pF로 나타났으며, 이는 이론적 pad 커패시턴스(~ 2 pF)와 접합 커패시턴스(~ 4 pF)의 합과 거의 일치하고 있다.

Photodiode의 응답속도는 주로 캐리어의 전달시간과 RC 시상수에 의해 제한되는데, 제작된 소자의 경우 전계영역을 통한 캐리어의 전달과 낮은 접합 커패시턴스를 고려하면 적절한 부하 조건아래에서 충분히 빠른 응답속도를 기대할 수 있다.

Fig. 6는 1 m 길이의 APF를 통해 여러가지 입력광 세기에서 측정된 I-V 특성곡선이다.

Fig. 6의 I-V측정결과를 살펴보면, 제작된 소자의 암전류는 -5 V 바이어스 아래에서 약 180 pA 정도로 나타나고 있다. 또한 $P_{in}=2.2 \mu W$ ($V_{in}=5$ V)로 광신호가 입력될 때 photodiode의 출력전류와 감도특성은 -5 V의 동작전압에서 각각 1.22 μA 와 0.55 A/W로 나타나고 있다. Table 1에서는 transmitter의 입력전압에 따라 photodiode에 입사되는 광전력과 이에 따른 소자의 출력전류 및 감도특성을 요약하였다.

디지털 광수신에서 높은 광신호 전류와 낮은 암전류 특성은 1-state ($V_{in}=5$ V)와 0-state ($V_{in}=0$ V)사이의 우수한 신호분리능력을 나타낸다.

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

Transmitter input voltage (V_{in})	Optical input power ($L_{APF}=1$ m)	Electro-optical characteristics ($V_R=-5$ V)	
		Output current	Responsivity (A/W)
0 V	0 W	180.0 pA	-
3 V	380 nW	164.4 pA	0.43
4 V	1.65 μW	881.9 pA	0.53
5 V	2.2 μW	1.221 μA	0.55

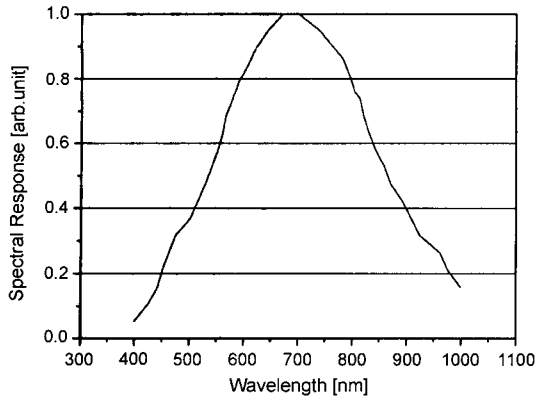


Fig. 7. Spectral response.

Fig. 7은 제작된 소자의 spectral response이다. Fig. 7에서 최대 spectral response를 나타내는 파장영역은 입력광의 스펙트럼(650~670 nm)과 거의 일치하고 있음을 볼 수 있다.

결과적으로, 본 연구에서 제작된 소자는 낮은 접합 커패시턴스, 낮은 암전류, 높은 광신호전류 및 적색영역에서 peak spectral response 특성으로 인해 적색중심 APF optics에서 우수한 광검출기로 활용이 기대된다. 또한 이 소자는 구조가 간단하고 Si 기술을 이용함으로써 소자제작이 용이하고 bipolar 및 CMOS 구동 회로와 집적화가 가능하다.

5. 결 론

적색광 검출을 위한 새로운 고성능 Si photodiode를 설계 · 제작하여 그 특성을 분석하였다. 제작된 소자는 금속-반도체 접촉 주위에 p⁺-guard ring을 가지며, 광이 입사되는 수평면에 그물망(web)모양의 p⁺-shallow diffusion을 실시하여 유효접합면적을 줄이고 진성층의 공간전하 영역을 수평적으로 확장시킨 구조이다. 제작된 소자는 -5 V의 동작전압에서 낮은 접합 커패시턴스 (C_j=4 pF)특성과 디지털 광신호 전송시 낮은 암전류(I_d ≃ 180 pA) 및 높은 광신호 전류(출력전류: 1.22 μA, 감도: 0.55 A/W) 특성을 나타내었다. 또한 광신호 검출면에 있어서 입력광 스펙트럼(중심파장: 670 nm)과 거의

일치하는 스펙트럼 영역(650~700 nm)에서 최대 spectral response 특성을 나타내었다.

이에 따라 본 연구에서 제작된 소자가 APF optics의 receiver단에서 응용될 경우, 디지털 신호 처리 시 0(V_{in}=0 V)과 1(V_{in}=5 V)상태 사이에서 우수한 신호분리 능력과 빠른 응답속도를 나타낼 것으로 기대되며, 기타 red light optics 응용에도 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의글

이 연구는 2000학년도 단국대학교 대학 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. K. Sato, T. Uchiyama, H. Majima, *et al.*, "10-bit CMOS Optical Link System for Silicon Vertex Detector of BELLE", IEEE Trans. Nucl. Sci., 45(3), pp. 829-832, (1998).
2. F. Vasey, V. Arbet-Engels, J. Batten, *et al.*, "Development of Radiation-Hard Optical Links for the CMS Tracker at CERN", IEEE Trans. Nucl. Sci., 45(3), pp. 331-337, (1998).
3. Mitsuo Fukuda, "Historical Overview and Future of Optoelectronics Reliability for Optical Fiber Communication Systems", Microelectronics Reliability, 40, pp. 27-35, (2000).
4. Fiber Optic Device Data Book, and Thoshiba, (1994).
5. Weiyou Chen and Shiyong Liu, "PIN Avalanche Photodiodes Model for Circuit Simulation", IEEE of Quantum Electronics, 32(2), pp. 2105-2111, (1996).
6. M. Seto, M. Mabeoone, S. De Jager, *et al.*, "Performance Dependence of Large-Area Silicon p-i-n Photodetector upon Epitaxial Thickness", Solid-State Electronics, 41(8), pp.1083-1087, (1997).
7. Edward S. Yang, Microelectronic Devices, Mcgraw-Hill Book Co., (1998).
8. R. Alley, P. K. Ko and K. Voros, "Characterization of the Boron⁺ Planar Dopant Source Moisture Enhanced Process", Memorandum UCB/ERL M86/75, pp. 1-20,(1986).