

Web-패턴 Si 광다이오드의 감도특성 개선

장지근 · 이상열 · 김장기
 단국대학교 전자공학과

Sensitivity Improvement of the Web Patterned Si Photodiode

Gee-Keun Chang, Sang-Yeoul Yi and Chang-Ki Kim

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

(2001년 1월 2일 받음, 2001년 2월 15일 최종수정본 받음)

초 록 광이 입사되는 수광면에 그물망(web) 모양의 얇은 p⁺-diffusion 영역을 갖는 새로운 구조의 적색광 검출 Si pin photodiode를 제작하고 그 특성을 분석하였다. 제작된 소자의 전기·광학적 특성을 -5V의 동작전압에서 측정한 결과, 접합 커패시턴스와 암전류는 각각 4pF와 235pA로 나타났으며 670nm의 중심파장을 갖는 1.6μW의 입사광 전력 아래에서 광신호 전류와 감도특성은 각각 0.48μA와 0.30A/W로 나타났다. 제작된 소자는 종래의 circular type photodiode에 비해 개선된 감도 특성을 나타내었으며 670~700nm의 파장영역에서 최대 spectral response를 보였다. 본 연구에서의 web-patterned Si photodiode는 red light optics 응용에서 디지털 신호처리시 우수한 신호분리 능력을 나타낼것으로 기대된다.

Abstract We have fabricated and evaluated a new Si pin photodiode for red light detection with the web patterned p⁺-shallow diffused region in the light absorbing area. From the measurements of electro-optical characteristics under the bias of -5V, the junction capacitance of 4pF and the dark current of 235pA were obtained. When the 1.6μW optical power with peak wavelength of 670nm was incident on the device, the optical signal current of 0.48μA and the responsivity of 0.30A/W were obtained. The fabricated device showed the improved sensitivity compared to the conventional circular type device and the maximum spectral response in a spectrum of 670~700nm. The web-patterned Si photodiode can be expected to have the good discrimination characteristics between digital signals in the application of red light optics.

Key words : web patterned Si photodiode, optical signal current, sensitivity, spectral response, optical link

1. 서 론

디지털 방송의 시작과 인터넷을 통한 원거리 통신서비스가 실현됨에 따라 관련기기의 디지털화가 활발하게 개발, 진행되고 있고 이에 따라 시스템과 시스템 사이를 고신뢰성, 고속으로 상호 연결시켜주는 optical link의 사용이 증가하고 있다.^{1~3)}

optical link는 'electrical wire'에 비해 가벼우며 단위시간에 많은 data를 전송할 수 있으며 전자파 장애와 같은 잡음에 대한 저항특성이 우수하다.⁴⁾ 이러한 특성을 가지는 optical link는 transmitter, receiver 및 광섬유로 구성되며, 광섬유는 대량 생산성과 저가적화를 고려하여 중심파장이 660~670nm인 APF(all plastic fiber)를 사용한다. 디지털 광신호를 APF(core/clad diameter : 970/1000 μm)를 통해 전송할때, 이의 수신을 위해서는 적색영역의 중심파장 부근에서 고속·고감도의 특성을 갖는 photodiode의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 새로운 web patterned Si pin 구조^{5,6)}를 이용하여 고속, 고감도, 낮은 암전류 특성을 갖는 적색광 검출 photodiode를 제작하고 이에 대한 전기·광학적 특성

을 조사하였다.

2. 구조 설계

photodiode가 디지털 광신호에 대해 우수한 신호분리능력과 빠른 신호응답을 나타내기 위해서는 낮은 암전류, 높은 출력 광신호전류, 그리고 낮은 접합 커패시턴스의 특성을 가져야 한다.⁷⁾ 이를 위해서 photodiode의 접합면적은 가능한 작아야 하며 입사광은 충분히 넓은 전계영역에서 대부분 흡수되어야 한다. 본 연구에서는 그림 1과 같이 광이 입사되는 면인 p⁺-shallow diffusion 영역을 그물망(web) 형태로 구성하여 유효접합면적을 줄이고 진성층의

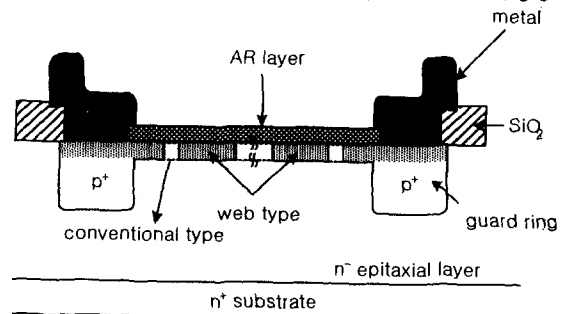


Fig. 1. The structures of Si pin photodiodes.

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 수행하며, 고리모양의 상부전극 안쪽을 수광면적으로 볼 때 수광면적의 직경은 500 μ m이며, 수광면 상에는 광반사 방지막 (AR layer : SiO₂) 이 놓여진다.

3. 실험 방법

n+ (111) Si 웨이퍼상에 약 18~19 μ m 두께의 진성 에피텍셀층 ($\rho \approx 60 \Omega\text{-cm}$) 을 형성하고 고온로에서 열산화법으로 약 6000 \AA 두께의 SiO₂를 성장시켰다. 이후 Boron Solid Source (GS126)⁸⁾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 contact 이 이루어지도록 하며 표면누설전류에 대한 guard-ring 역할을 수행한다. 다음으로 광이 입사되는 창구를 개방하고 광반사 방지막 (antireflection layer) 으로 약 1000 \AA 두께의 SiO₂층을 성장시켰다. 이 후 금속-반도체 접촉창구를 개방하고 Al 금속을 진공증착시켜 소자의 전극을 형성하였으며, Al과 Si 계면 사이의 저저항 접촉을 위해 500 $^{\circ}$ C에서 5분간 alloy 공정을 수행하였다. 그림 2에 제작된 photodiodes의 사진을 나타내었다. 그림 2(a)는 web patterned photodiode이며 그림 2(b)는 web patterned photodiode와

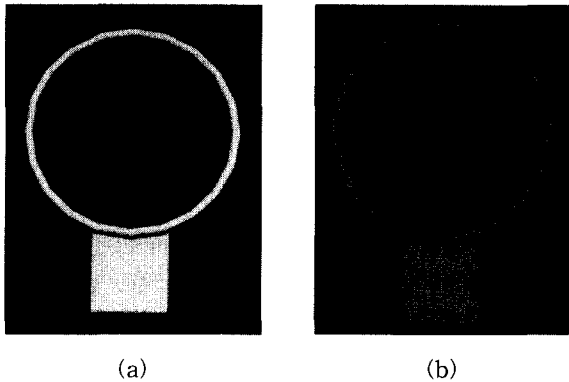


Fig. 2. Photographs of (a) the web-patterned device and (b) the conventional device.

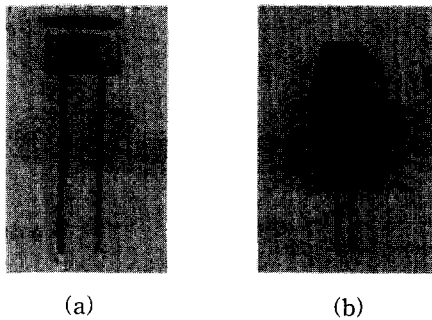


Fig. 3. Photographs of (a) the packaged photodiode and (b) its housing.

의 비교를 위해 제작된 conventional type의 photodiode이다.

4. 결과 및 고찰

제작된 소자를 그림 3과 같이 투명 packaging하고 housing을 이용하여 전기·광학적 특성을 조사하였다.

그림 4는 photodiode의 전기광학적 특성을 측정하기 위한 시스템 블록도이다. I-V특성과 C-V특성의 측정에는 각각 HP4145B와 HP 4280A 장비를 이용하였으며, photodiode에 입사되는 빛의 세기 측정은 Ando AQ1966/1135E optical sensor/power meter를 이용하고, 입사광 spectrum은 Anritsu MS9030A/9701C optical spectrum analyzer를 사용하여 측정하였다. photodiode에 입사되는 광세기는 transmitter단에서 사용된 LED (TODX276, peak wavelength : 670nm) 의 입력전압 (V_{in}) 과 APF optical fiber의 길이에 따라 조절된다. 그림 5는 $V_{in}=5V$ 에서 transmitter단으로부터 방출된 빛이 APF를 통해 photodiode에 입력되는 optical spectrum을 보여주고 있다.

그림 5에서 APF optical link에 이용되는 광신호 spectrum은 670nm의 중심파장으로부터 ± 30 nm 범위내에 분포하고 있음을 볼 수 있다. 이와 같은 광신호 입력시 높은 출력전류를 얻기 위해서는 photodiode가 약 640~700nm 파장범위에서 maximum spectral response를 가지게 하는 것이 필요하다. 그림 6은 제작된 photodiodes의 C-V 특성이다. 그림 6의 C-V 측정 결과, web-patterned device ($C \approx 6pF$ at $V_R = -5V$)가 conventional device ($C \approx 7.5pF$ at $V_R = -5V$)에 비해 낮은 접합 커패시턴스 값을 나타내었다. 측정된 커패시턴스 값은 접합 커패시턴스

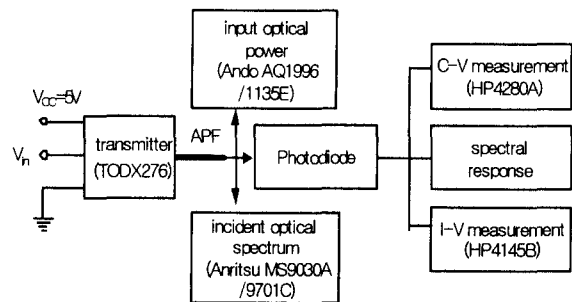


Fig. 4. Block diagram of the measurement system.

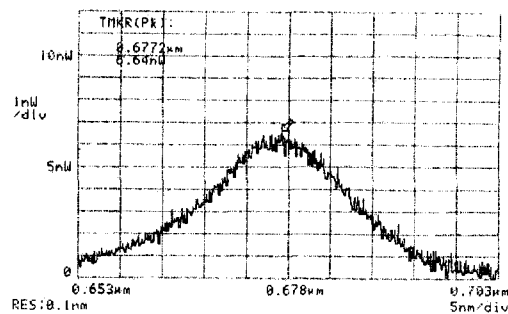


Fig. 5. Incident optical spectrum ($V_{in} = 5V$).

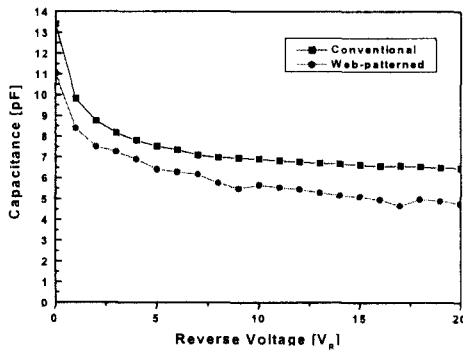


Fig. 6. C-V characteristics.

(~4pF)와 pad 전극에 의한 MOS 커패시턴스 (~2pF)의 합이며 이는 이론적인 계산값과 거의 일치할 이루고 있다. photodiode의 응답속도는 주로 캐리어의 전달시간 (transit time)과 RC 시상수에 의해 제한되는데, 제작된 web-patterned 소자의 경우 진성 전계영역을 통한 캐리어의 전달과 낮은 접합 커패시턴스를 고려하면 적절한 부하 조건아래에서 충분히 빠른 응답속도를 기대할 수 있다.

그림 7은 2m 길이의 APF를 통해 여러 가지 입력광세기에 측정된 I-V 특성곡선을 나타내고 있다.

그림 7의 I-V 측정결과를 살펴보면, web-patterned 소자가 conventional 소자에 비해 높은 광신호전류 특성을 나타내고 있음을 볼 수 있다. 제작된 web-patterned 소자의 암전류는 $V_R = -5V$ 의 바이어스 아래에서 약 235pA 정도로 매우 낮게 나타나고 있으며, $V_{in} = 5V$ 로 광신호가 입력될 때 소자의 출력전류와 감도특성은 $V_R = -5V$ 의 동작전압에서 0.48μA와 0.30A/W로 나타나고 있다. 표 1에서는 transmitter의 입력전압에 따라 photodiodes에 입사되는 광 전력과 이에 따른 소자의 출력전류 및 감도특성을 요약하였다.

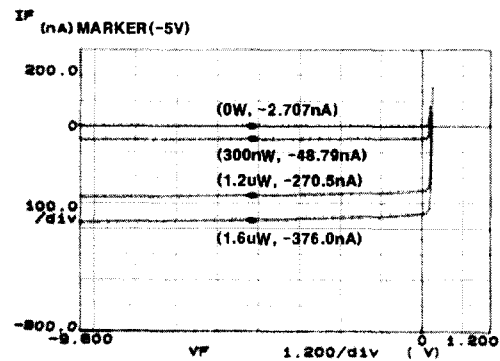
디지털 광수신에서 낮은 암전류와 높은 광신호 전류특성은 0 state ($V_{in} = 0V$)와 1 state ($V_{in} = 5V$) 사이에 우수한 신호분리능력을 가질 수 있다는 것을 나타낸다. 그림 8은 web-patterned 소자의 여러 파장에 따른 spectral response를 보이고 있다. 광 스펙트럼에서 peak wavelength는 약 670~700nm 사이에서 나타나고 있으며 이는 입력광의 중심 스펙트럼(670nm)과 거의 일치하고 있다.

결과적으로, 본 연구에서 제작된 web-patterned 소자는 낮은 접합 커패시턴스, 낮은 암전류, 높은 광신호전류 및

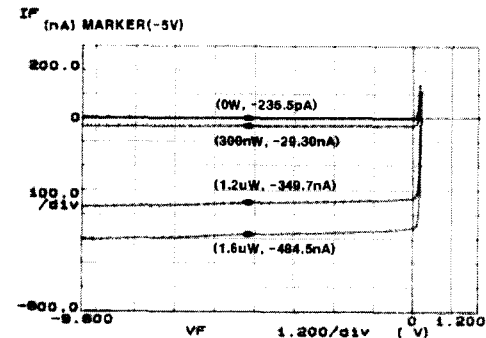
적색영역에서 peak spectral response 특성으로 인해 적색중심 APF optics에서 우수한 광검출기로 활용이 기대된다. 또한 이 소자는 구조가 간단하고 Si 기술을 이용함으로써 소자제작이 용이하고 bipolar 및 CMOS 구동회로와 집적화가 가능하다.

5. 결 론

APF optical link용 적색광 검출을 위한 새로운 Si pin photodiode를 설계·제작하여 그 특성을 분석하였다. 제작된 소자는 금속-반도체 접촉 주위에 p^+ -guard ring을 가지며, 광이 입사되는 수광면에 그물망(web) 모양의 p^+ -shallow diffusion을 실시하여 유효접합면적을 줄이고 진성층의 공간전하 영역을 수평적으로 확장시킨 구조이다. 제작된 소자는 $V_R = 5V$ 의 동작전압에서 낮은 접합 커패시턴



(a)



(b)

Fig. 7. I-V characteristics for (a) the conventional device, and (b) the web-patterned device.

Table 1. Optical input powers and opto-electrical characteristics of the fabricated devices at $V_R = -5V$

V_{in}	optical input power ($L_{APF} = 2m$)	output current		sensitivity(A/W)	
		web type	conventional type	web type	conventional type
0V	0W	235pA	2.7nA	-	-
3V	0.30μW	30nA	49nA	0.02	0.03
4V	1.20μW	350nA	270nA	0.22	0.17
5V	1.60μW	485nA	376nA	0.30	0.24

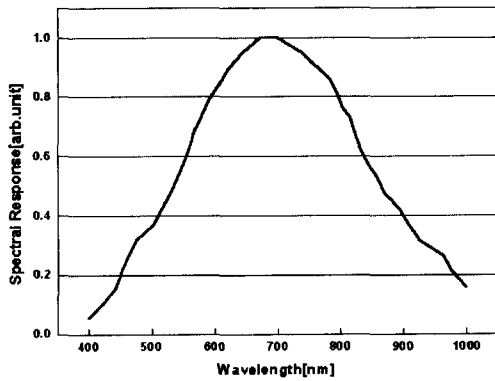


Fig. 8. Spectral response.

스 ($C_j \approx 4\text{pF}$)와 디지털 광신호 전송시 낮은 암전류 ($I_d \approx 235\text{pA}$) 및 높은 광신호 전류 (출력전류: $0.48\mu\text{A}$, 감도: 0.30A/W at $V_{in}=5\text{V}$, and $L_{APF}=2\text{m}$) 특성을 나타내었다. 또한 광신호 검출면에 있어서 입력광 스펙트럼 (peak wavelength: 670nm)과 거의 일치하는 광 스펙트럼 영역 ($670\sim 700\text{nm}$)에서 최대 spectral response 특성을 나타내었다. 결과적으로, 본 연구에서 제작된 소자는 낮은 접합 커패시턴스, 낮은 암전류, 높은 광신호전류 및 적색파장 영역에서 peak spectral response 특성으로 인해 적색중심 APF optics에서 우수한 광검출기로서의 활용이 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 산업기반기술개발사업 지원에 의하여 Vitonet의 위탁 연구비로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

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, Thoshiba, (1994).
5. Weiyu 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. Mabesoone, 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).