

## APF optical link용 Si pin photodiode의 설계 및 제작

강현구, 남정식, 이지현, 김윤희, 이상열, 김장기, 장지근  
단국대학교 전자공학과  
전화 : (0417) 550-3549 / 팩스 : (0417) 565-1480

### Design and Fabrication of Si pin photodiode for APF optical link

Hyun Gu Kang, Jeong Sik Nam, Ji Hyun Lee, Yun Hee Kim,  
Sang Yeoul Yi, Chang Ki Kim, and Gee Keun Chang  
Dept. of Electronics Engineering, Dankook University  
E-mail : semicgk@anseo.dankook.ac.kr

#### Abstract

We have fabricated and analyzed photodiodes for optical link with Si pin structures. As the results of experiment, the web patterned photodiode(type C) with p<sup>+</sup>-guard ring showed low junction capacitance of 6~7 pF at V<sub>R</sub>=-5V and high separation ability for optical signal(dark current : ≤ 5 nA, optical signal current : ≥ 340 nA) due to the small effective p<sup>+</sup>-n junction area and the expanded electric field region.

The fabricated Si pin photodiode can be applicable for detecting an optical signal with the wavelength of about 660 ~ 670 nm. It can also be integrated with the twin well CMOS structure to develop an one chip based optical receiver IC.

#### I. 서론

최근 산업의 고도화, 고신뢰성화에 따라 광(optic)을 사용하는 분야가 빠른 속도로 증가하고 있으며, 이중 가장 주목할만한 분야가 멀티미디어 시스템 분야이다. 멀티미디어 시스템이 발달함에 따라 시스템과 시스템 사이의 연결을 위해서는 고신뢰의 신호 확보 및 단위 시간에 많은 data의 전송을 필요로 하므로 광(optic)을

활용하게 되었고, 이러한 멀티미디어 시스템 사이를 고신뢰성, 고속으로 상호 연결시켜주는 optical link<sup>[1]</sup>의 발달이 요구된다.

optical link의 구성은 transmitter, receiver 및 광섬유로 구현되며, 광섬유는 대량 생산성과 저가격화를 고려하여 중심파장이 660nm인 APF(all plastic fiber)를 사용한다. digital audio signal(maximum data rate : 6Mb/s)를 APF(diameter : 970/1000 $\mu$ m)로 전송했을 때, 이의 수신을 위해서는 수신 파장 영역에 걸쳐 고속·고감도 특성을 갖는 receiver device의 개발이 중요하다.

본 연구에서는 Si pin 구조<sup>[2]</sup>를 이용하여 낮은 암전류, 고감도, 고속특성을 갖는 디지털 오디오용 광검출기를 제작하고 이의 전기·광학적 특성을 조사하였다.

#### II. 실험방법

n<sup>+</sup>(111) Si 웨이퍼상에 약 19 $\mu$ m 두께의 진성 에피택셜층( $\rho \approx 60.8 \Omega\text{-cm}$ )을 형성하고 고온로에서 열산화법으로 약 7000Å 두께의 SiO<sub>2</sub>를 성장시켰다. 이후 Boron Solid Source(GS126)<sup>[3]</sup>를 사용하여 먼저 p<sup>+</sup>-deep diffusion 공정을 수행하여 약 2 $\mu$ m의 deep diffusion region을 형성하였고, 이어서 p<sup>+</sup>-shallow diffusion 공정을 수행하여 약 0.6 $\mu$ m의 shallow diffusion 영역을 형성하였다. p<sup>+</sup>-deep diffusion 영역은 금속과 반도체간에

contact을 형성하고 guard-ring 역할을 수행한다. 다음으로 약 1000Å 두께의 광반사방지막(anti-reflection layer : SiO<sub>2</sub>)을 성장시키고 photolithography를 통해 금속-반도체 접촉창구를 개방하였으며, thermal evaporator를 사용하여 Al금속을 증착시켜 소자의 전극을 형성하고 Al과 Si계면 사이의 문제점을 피하기 위해 고온으로 500°C에서 5분간 alloy 공정을 수행하였다<sup>[4]</sup>.

제작된 photodiode의 기본구조는 그림 1에, 공정도는 그림 2에 나타내었다.

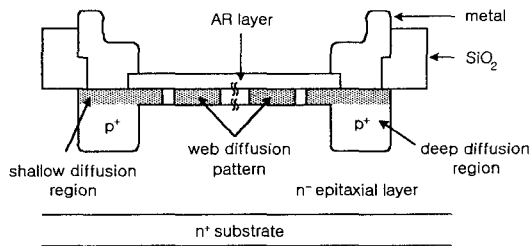


그림 1. Si pin photodiode의 기본구조  
Fig. 1. Basic structure of Si pin photodiode.

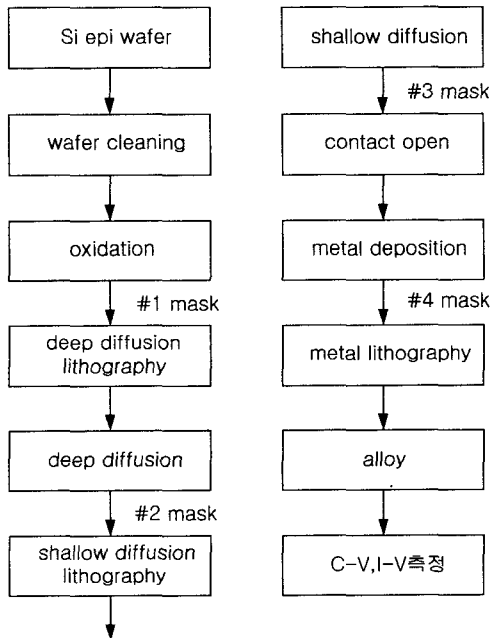
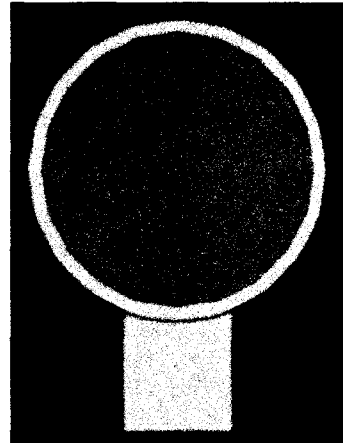


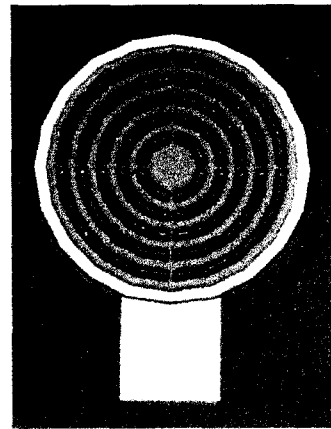
그림 2. 공정도  
Fig. 2. Process chart.

### III. 결과 및 고찰

본 연구에서 설계된 photodiode는 구조의 차이에 따라 3가지로 분류되며, 그림 3에 이를 보였다.



(a) type A, B



(b) type C

그림 3. 제작된 photodiodes의 사진  
Fig. 3. Photographs of the fabricated photodiodes.

type A는 deep diffusion 영역이 없는 일반 원형구조이고, type B는 type A로 부터 금속-반도체 접촉부위에 deep diffusion 영역이 추가된 구조이며, deep diffusion 영역과 금속-반도체 접촉 영역이 같기 때문에 사진에 나타난 type A, B의 모양은 같다. type C는

p<sup>+</sup>-shallow diffusion 영역의 면적을 줄이고 단파장에서 의 광 생성에 의한 carrier의 수집효율을 증가시키기 위해 p<sup>+</sup>-shallow diffusion 영역을 web pattern으로 설계한 구조이다. 설계된 photodiodes(type A, B)에서 고리전극의 안쪽을 수평면적으로 볼 때 수광면적의 반경은 250 $\mu$ m이다.

이후 3가지 type의 photodiodes에 대한 전기·광학적 특성을 조사하기 위해 C-V측정은 HP4280A로, I-V측정은 HP4145B로 측정하였다. I-V 측정시, TODX276 (도시바 제품, 중심파장 660nm)와 2m 길이의 APF(all plastic fiber)를 사용하여 입력광을 형성하였으며, 표 1에 photodiodes에 입사되는 광력을 transmitter단의 신호전압에 따라 나타내었다. transmitter 단으로부터 APF를 통해 photodiode에 입력되는 optical spectrum을 그림 4에, 측정시스템의 블록도는 그림 5에 나타내었다.

그림 6는 제작된 photodiodes의 C-V 특성이며, 그림 7은 여러 가지 입력 광 조건에서 I-V 특성이다.

표 1. Photodiode의 입사광력

Table 1. Optical input power of the photodiode.

transmitter input voltage	optical input power
0V	0W
3V	300nW
4V	1.2 $\mu$ W
5V	1.6 $\mu$ W

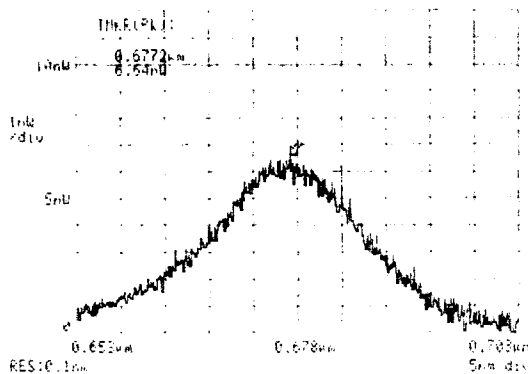


그림 4. Photodiode의 입사광 spectrum

Fig. 4. Incident optical spectrum of the photodiode.

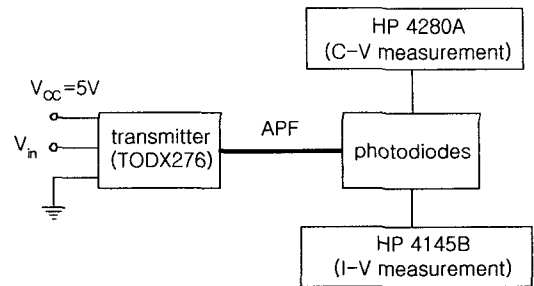


그림 5. 측정시스템 블록도

Fig. 5. Block diagram of the measurement system.

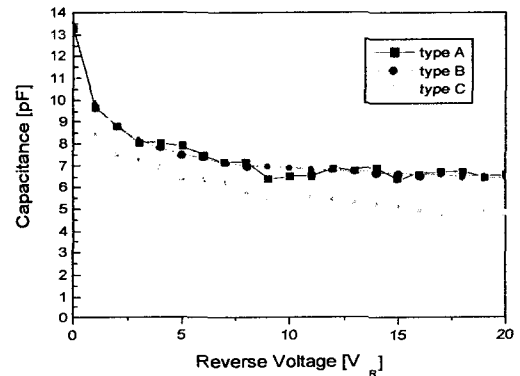
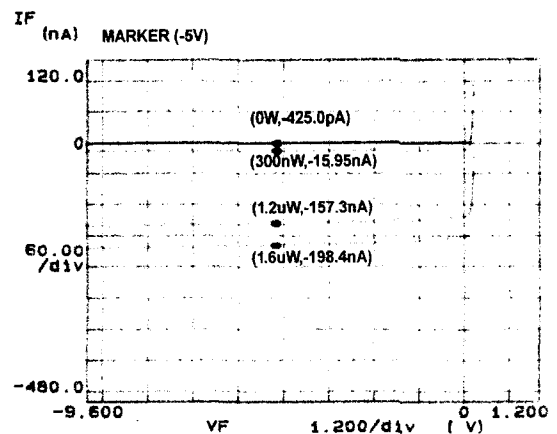
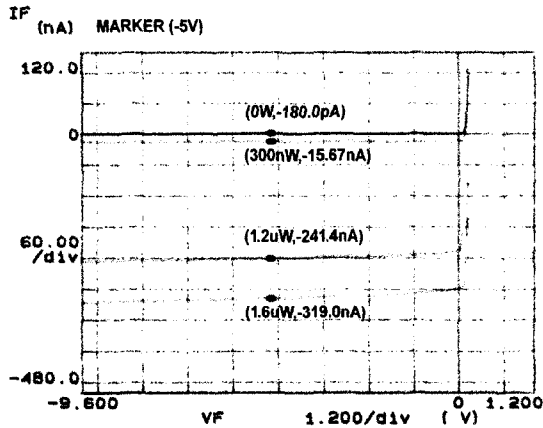


그림 6. Photodiodes의 C-V특성

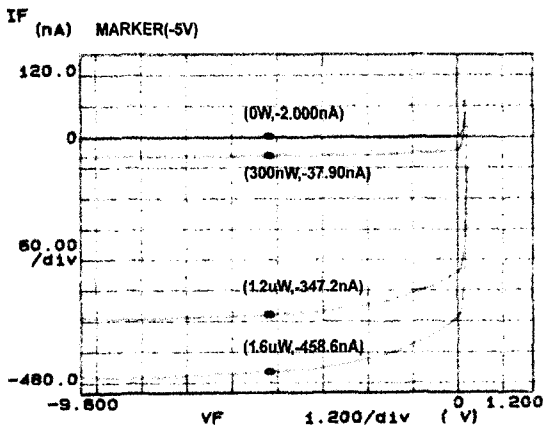
Fig. 6. C-V characteristics of photodiodes.



(a) type A



(b) type B



(c) type C

그림 7. Photodiodes의 I-V 특성

Fig. 7. I-V characteristics of photodiodes.

C-V 측정 결과, 소자의 커패시턴스 값은 pad전극에 의한 MOS 커패시턴스와 접합 커패시턴스의 합으로 나타났으며, 이는 이론적 예상치<sup>[5-6]</sup>와 거의 일치하게 나타났다. pin photodiode에 있어서 응답속도는 주로 캐리어의 전송과 RC 시상수에 의해 제한이 되는데, type A, B의 경우 같은 수평면적으로 인해 커패시턴스 값은 동일하게 나타났으며, type C는 가장 낮은 커패시턴스 값을 가지며, 이로써 가장 빠른 응답속도를 가짐을 알 수 있었다. I-V 측정 결과, deep diffusion 영역이 있는 구조인 type B는 type A에 비해 암전류는 낮고 광전류는 높았으며, web형 p<sup>+</sup>-shallow diffusion 구조를 가지는 type C는 type B에 비해 암전

류는 다소 증가하나 커패시턴스가 낮고 광전류가 상당히 증가하였다.

결과적으로 p<sup>+</sup>-guard ring 영역과 web형의 p<sup>+</sup>-shallow diffusion 구조를 갖는 type C가 낮은 커패시턴스로 인한 응답속도나 높은 광전류의 감도면에서 type A와 type B 구조에 비해 보다 우수한 성능을 가짐을 알 수 있었다. 본 연구에서 type C의 photodiode의 경우, 디지털 신호 처리시 0과 1신호 사이의 threshold 전류를 40nA로 볼때, 입력신호가 0~1V에서는 5nA이하(0 state)로, 4~5V에서는 340nA이상(1 state)으로 우수한 신호분리 능력을 나타내었다.

#### IV. 결론

Si pin 구조로 optical link용 photodiodes를 설계, 제작하여 그 특성을 분석하였다. 실험결과 금속-반도체 접촉부위에 p<sup>+</sup>-guard ring을 설치하고 web pattern 구조를 통해 p<sup>+</sup>-n접합의 유효면적을 축소시키고 진성층의 전계영역을 증가시킨 photodiode(type C)는 낮은 접합 커패시턴스(6~7 pF at V<sub>R</sub>=-5V)와 높은 광신호 분리능력(암전류: <5nA, 광신호전류: ≥340nA)을 나타내었다.

제작된 Si pin photodiode는 약 660~670nm의 중심파장을 갖는 광신호검출에 적합하게 사용될 수 있으며 twin well CMOS구조와 integration이 가능하며 one chip optical receiver IC 개발에 응용될 수 있다.

#### Reference

- [1] Li, T., "Lightwave Communication", Phys. Today, 24(May 1985).
- [2] Melchior, H., "Detector for Lightwave Communication", Phys. Today, 32(Nov. 1977).
- [3] J. J. Steslow, J. E. Rapp and P. L. White, "Advances in Solid Planar Dopant Sources for Silicon", Solid State Technology, vol. 18, no. 1, January 1975.
- [4] W. Maly, Atlas of IC Technologies, The Benjamin/cummings Publishing Com.
- [5] Edward S. Yang, Microelectronic Devices, Mcgraw-Hill Book Com.
- [6] Roy A. Colclaser, Microelectronics : Processing and Device Design, John Wiley & Sons, Inc., (1980).