

에피택셜 박막처리에 따른 바이폴라 집적구조형 실리콘 광다이오드의 전기·광학적 특성

Electro-optical Characteristics of the Bipolar Integrated Si Photodiode According to the
for Epitaxial Layer Process

김윤희, 이지현, 정진철, 김민영*, 장지근
단국대학교 전자·컴퓨터 공학부 전자공학과
* 천안외국어 대학교 산업전산과

Abstract

APF optical link용 receiver를 하나의 바이폴라 칩으로 실현하기 위하여 수신과장 영역에서 고속·고감도 특성을 갖는 바이폴라 집적용 Si photodiode를 에피 두께 6 μm (epi06)와 12 μm (epi12)로 제작하고 이의 전기·광학적 특성을 조사하였다. 제작된 소자의 전기·광학적 특성을 -5 V의 동작전압에서 측정한 결과, 6 μm 에피두께의 경우 접합커패시턴스와 암전류가 각각 4.8 pF와 2.6 pA로 나타났으며, 광신호 전류와 감도특성은 670 nm의 중심파장을 갖는 3.15 μW 의 입사광 전력 아래에서 각각 0.568 μA 와 0.18 A/W로 나타났다. 에피층의 두께가 12 μm 의 경우 접합커패시턴스와 암전류는 각각 9.8 pF와 171.3 pA로 나타났으며, 광신호 전류와 감도특성은 3.679 μA 와 1.17 A/W로 나타났다. 제작된 두 소자는 적색 파장($\lambda_p=670\text{nm}$)부근에서 최대 spectral response($\lambda_p=600\text{nm}$ at epi06, $\lambda_p=700\text{nm}$ at epi12)를 보이고 있다.

1. Introduction

최근 디지털 방송의 시작과 인터넷을 통한 원거리 통신 서비스가 실현됨에 따라 디지털 시스템과 시스템 사이를 고신뢰성, 고속으로 상호 연결시켜주는 Optical Link의 사용이 증가하고 있다.

Optical link는 정보 전달의 매개체로 광(light)을 사용하고, 전송회선(communication channel)으로 fiber를 사용하여 통신하는 시스템이다. 이러한 optical link는 전자파 장애(EMI)와 같은 잡음에 대한 저항특성이 우수하며, electrical wire에 비해 대역폭이 훨씬 넓기 때문에 적은 수의 회선으로도 다량의 정보를 고속으로 전송할 수 있다.¹⁻³⁾

Optical link는 transmitter, receiver 및 전송선로인 optical fiber로 구성되며, 광섬유로는 대량생산성과 저가격화를 고려하여 APF(all plastic fiber)를 사용한다. APF optics에서는 신호전송 과정에서 광감쇠를 고려하여 일반적으로 중심파장이 660~670 nm인 적색광이 이용된다.⁴⁾ APF optics의 receiver는 전송되는 디지털 광신호를 수신하기 위한 photodiode와 photodiode의 전류를 디지털 출력 신호로 변환시키는 전기적 회로로 구성된다. optical link를 통해 빠르고 정확한 신호 검출을 위해 photodiode는 적색 영역의 중심파장 부근에서 고속·고감도 특성을 가져야 하며 receiver 제작의 비용 절감을 위해 photodiode와 전기적 구동회로 사이에는 one chip integration이 요구된다.⁵⁻⁶⁾

본 연구에서는 optical link용 receiver를 하나의 바이폴라 칩으로 실현하기 위하여 수신과장영역에서 고속·고감도 특성을 갖는 바이폴라 집적용 Si photodiode를 설계·제작하고 이의 전기·광학적 특성을 조사하였다.

2. Photodiode Structure

photodiode가 디지털 광신호에 대해 우수한 신호분리 능력과 빠른 신호응답을 얻기 위해서는

낮은 암전류, 높은 광전류 그리고 낮은 접합 커패시턴스의 특성을 가져야 하며, 이를 위해 photodiode의 면적은 가능한 작아야 하며, 입사광은 충분히 넓은 전계영역에서 흡수되어야 한다. Fig.1은 설계된 바이폴라 집적용 Si photodiode의 단면도이다.

빛이 입사되는 면인 고리모양 내부는 p⁺-shallow diffusion 영역이 그물망(web) 형태로 배치된다. 이는 접합면적을 줄임으로써 암전류를 줄이고, 진성층의 전계영역을 수평적으로 확장시켜 단파장에서의 광생성에 의한 carrier 수집효율을 증가시키기 위함이다. 고리모양의 p⁺-deep diffusion 영역은 빛이 흡수되는 영역의 외각을 따라 배치되며, 이 위로 금속-반도체 접촉이 이루어진다. p⁺-deep diffusion 영역은 금속-반도체 사이의 접촉 신뢰도를 개선시켜 표던 누설전류를 방지하기 위한 guard ring 역할을 수행한다. 또한 팔각형 모양을 제외한 나머지 영역에는 집적회로 구성에서 암전류를 보상하기 위한 dummy diode가 놓여진다. photodiode의 수광면적 직경은 500 μm 이며, 이는 dummy diode의 면적과 동일하다. 수광면 상부에는 입사광의 반사를 막기 위한 광반사 방지막(antireflection layer)이 형성된다.

photodiode와 바이폴라 transistor는 동일 기판상에 만들어지며, photodiode의 p⁺-deep diffusion 영역과 transistor의 base 영역이 동시에 형성된다. 격리영역은 photodiode와 transistor 사이에 회로적 단락을 방지하며 n⁺-sink는 n⁺-매몰층(buried layer)과 함께 photodiode를 완전히 둘러싸므로써 인접한 dummy diode와 공통전극을 형성한다.

3. Experimental

바이폴라 공정기술로 p(111) Si 웨이퍼상에 n⁺-매몰층과 p⁺-하부격리 영역을 형성한 후 n⁻-에피층을 epi06(두께 6 μm, 비저항 1 Ω-cm)과 epi12(두께 12 μm, 비저항 4 Ω-cm)의 두가지 방식으로 성장시켰다. 이후 인접소자간의 완전한 격리를 위해 p⁺-상부 격리 영역을 확산하였으며 POCl₃을 이용하여 n⁺-sink 영역을 형성하였다. 다음으로 붕소를 이온 주입(E=50 KeV, Q=6.3×10¹⁴/cm²)하고 drive-in을 실시하여 p⁺-deep diffusion 영역(R_s=155Ω/□)을 형성하였다. 이후 웨이퍼상의 모든 산화막을 제거하고 약 1700 Å 두께의 SiO₂막을 새로 성장시켰으며 900 °C에서 약 220분의 열처리 공정을 거친 후 붕소를 이온 주입(E=30 KeV, Q=4.0×10¹⁵/cm²)하여 p⁺-shallow 영역(R_s=70Ω/□)을 형성하였다. 광이 입사되는 수광면의 산화막을 모두 제거하고 약 500 Å의 광반사 방지막(Si₃N₄)을 성장시킨 후 공정의 마지막 단계로 금속 전극을 형성하였다.

3. Results and Discussion

제작된 소자를 투명 패키징하고 하우징하여 전기·광학적 특성을 측정하였다. 소자 측정에서 패키징과 하우징은 광신호 외의 외부 빛에 대한 영향과 잡음을 최대한 억제하고, 빛의 분산에 의한 입사광의 손실을 줄이기 위해서이다.

photodiode의 I-V측정에서는 Sharp사의 T83 LED(중심파장: 670 nm)를 이용하였으며 APF를 통해 photodiode로 입사되는 광세기는 fiber의 길이와 transmitter module의 입력전압에 따라 조절된다. Fig. 2는 V_{in}=5 V에서 transmitter단으로부터 방출된 빛이 1m 길이의 APF를 통해 photodiode에 입사되는 optical spectrum을 Anritsu MS9030A/MS9701C optical spectrum analyzer 장비로 측정된 결과이다. Fig. 3은 여러 가지 입력광 세기에서의 I-V 특성이며, Fig. 4는 제작된 photodiode의 C-V특성이다. I-V 측정 결과, epi12(암전류: 171.3 pA at P_{in}=0W, 출력광전류: 3.679 μA at P_{in}=3.15μW and 감도: 1.17 A/W)가 epi06(암전류: 2.6 pA at P_{in}=0W, 출력광전류: 0.568 μA at P_{in}=3.15 μW and 감도: 0.18 A/W)에 비해 높은 암전류와 출력 광전류 값을 나타내었다. 이는 에피박막층 두께증가에 따른 캐리어 수집효율의 증가로 인한 것이다. Table 1에서는 transmitter의 입력전압에 따라 photodiode에 입사되는 광전력과 이에 따른 소자의 출력전류 및 감도특성을 요약하였다. photodiode의 높은 광신호 전류와 낮은 암전류 특성은 디지털 광신호 처리에서 우수한 신호

분리 능력을 나타낸다. C-V 측정결과, -5V 전압아래에서 epi06은 4.7 pF, epi12는 9.8 pF을 나타내었다. photodiode의 응답속도는 주로 캐리어의 전달시간과 RC 시상수에 의해 제한되는데, 제작된 소자의 경우 전계영역을 통한 캐리어의 전달과 낮은 접합 커패시턴스를 고려하면 epi06이 epi12보다 적절한 부하 조건 아래에서 충분히 빠른 응답속도를 기대할 수 있다. Fig.2 에서 APF optics에 이용되는 광신호 스펙트럼은 약 670 nm의 중심파장으로부터 ± 20 nm 범위 내에 분포하고 있음을 볼 수 있다. 이에 따라 광신호 입력시 높은 출력전류를 얻기 위해서는 photodiode가 약 650~670 nm 범위에서 maximum spectral response를 갖도록 설계·제작되어야 한다. Fig. 5는 제작된 소자의 spectral response이다. 측정된 photodiode의 spectral response는 epi06의 경우 약 570~600 nm영역에서, epi12의 경우 약 670~700 nm영역에서 peak치를 보이고 있다. 따라서 transmitter로부터 입사되는 광 스펙트럼의 중심파장($\lambda_p=670$ nm)을 고려할 때, epi12가 거의 동일한 파장대역에서 우수한 신호검출 능력을 가짐을 알 수 있다.

5. Conclusion

Optical link용 receiver를 하나의 바이폴라 칩으로 실현하기 위하여 수신파장 영역에서 고속·고감도 특성을 갖는 바이폴라 집적용 실리콘 광다이오드를 제작하고 이의 전기·광학적 특성을 조사하였다. 제작된 소자는 에피 박막층 성장 조건에 따라 epi06(epi 두께: $6\mu\text{m}$)과 epi12(epi 두께: $12\mu\text{m}$)로 분류되었다. epi12(암전류: 171.3 pA at $P_{in}=0\text{W}$, 출력광전류: $3.679\mu\text{A}$ at $P_{in}=3.15\mu\text{W}$ and 감도: 1.17 A/W)는 epi06(암전류: 2.6 pA at $P_{in}=0\text{W}$, 출력광전류: $0.568\mu\text{A}$ at $P_{in}=3.15\mu\text{W}$ and 감도: 0.18 A/W)에 비해 더 우수한 광신호 분리 능력을 보였으며, 출력광 스펙트럼에서도 입사광의 광스펙트럼 중심파장과 거의 동일한 파장영역(670~700 nm)에서 peak치를 나타내었다.

References

- [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] Weiyong 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).

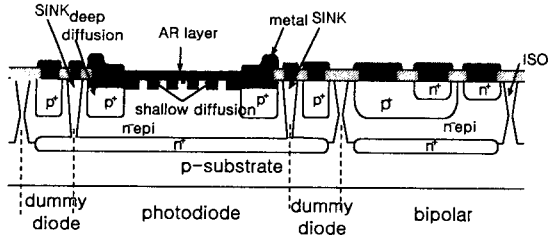


Fig. 1 Si photodiode integrated with bipolar transistor.

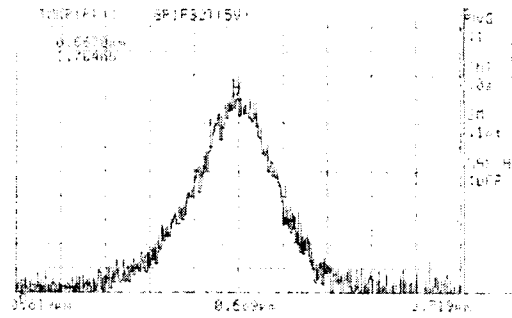
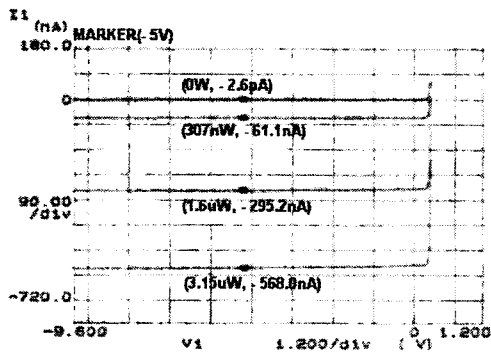
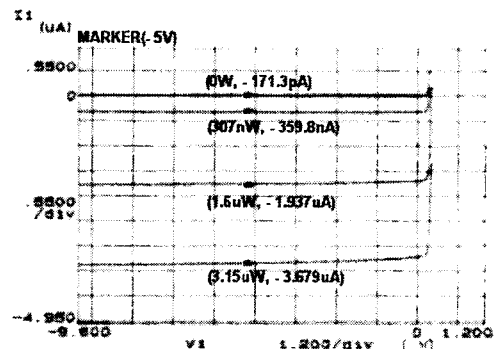


Fig. 2 Input power spectrum.



(a) epi06



(b) epi12

Fig. 3 I-V Characteristics of photodiodes.

Optical Input Power	Electro-optical Characteristics (V=-5 V)			
	photocurrent		reponsivity(A/W)	
	epi06	epi12	epi06	epi12
0 W	2.6 pA	171.3 pA	-	-
0.31 μW	61.1 nA	359.8 nA	0.2	1.17
1.6 μW	295.2 nA	1.937 μA	0.18	1.21
3.15 μW	568.0 nA	3.679 μA	0.18	1.17

Table 1. Optical Input power and electro-optical characteristics.

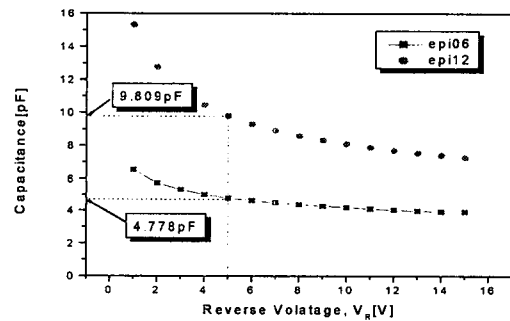
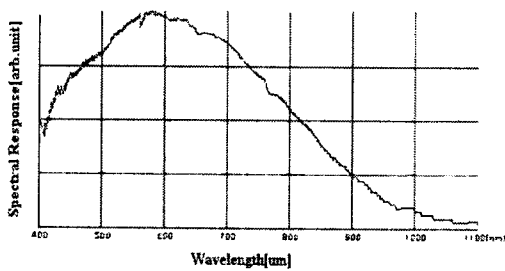
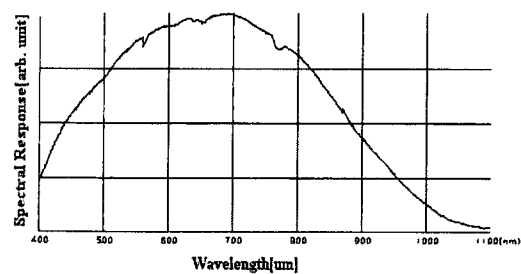


Fig. 4 C-V Characteristics of photodiodes



(a) epi06



(b) epi12

Fig. 5 Spectral responses.