

중첩된 양극 구조의 Si 포토다이오드 제작

(Fabrication of Si Photodiode with Overlapped Anode)

장지근, 조재욱, 황용운

단국대학교 전자컴퓨터학부 전자공학전공

Abstract

상하로 양극 영역이 중첩된 새로운 Si 포토다이오드를 제작하고 이의 전기광학적 특성을 조사하였다. 제작된 소자의 역포화전류와 이상계수는 각각 68pA와 1.8로 나타났으며 -3V 바이어스에서 측정된 접합 커패시턴스는 8.3 pF로 나타났다. 또한 100mW/cm², AM1 스펙트럼 조건에서 -3V 바이어스 아래 측정된 광전류와 감도특성은 각각 60 μ A와 6 A/W로 나타났다.

1. Introduction

전자정보산업의 발전과 더불어 PC, 게임기 등에 DVD나 CD ROM, CDRW와 같은 광기록처리 장치의 수요가 급증하고 있으며 이들 장치들은 소형화 및 고성능화로 발전되고 있다. 광기록처리 장치는 기본적으로 광을 발생하는 반도체 레이저와 광을 유도제어하는 광학시스템, 그리고 디스크에 반사된 광신호를 수신하는 광검출기 및 출력신호를 처리하는 구동회로로 구성된다. 오늘날 광기록처리 장치의 소형화, 고성능화 요구에 따라 드라이브상의 공간을 축소하고 혼신이나 잡음 문제를 해결하기 위해 광검출기는 수신부의 구동회로와 집적되고 있으며, 많은 양의 정보를 고속으로 처리하기 위한 고성능 PDIC(photodetector IC)의 개발이 요구되고 있다¹⁻⁴⁾. 본 논문에서는 고성능 Si PDIC에 집적시킬 수 있는 고속, 고감도 광검출기의 개발을 목표로 새로운 중첩된 양극(overlapped anode) 구조를 갖는 Si 포토다이오드를 설계하고 이의 제작기술을 연구하였다.

2. Experimental Procedure

정보처리 장치에서 PDIC상의 포토다이오드가 디지털 광신호에 대해 우수한 신호구분 능력과 빠른 응답을 나타내기 위해서는 높은 광전류와 고감도, 그리고 낮은 암전류와 접합 커패시턴스, 그리고 높은 차단주파수와 저잡음 특성을 가져야 한다⁵⁾. 이를 위해 소자의 접합면적은 가능한 작아야 하며, 입사광은 충분히 넓은 전계영역에서 대부분 흡수될 수 있어야 한다. 또한 입사광의 표면반사 및 재결합 손실을 줄이기 위한 적절한 AR막(anti reflection layer)의 형성과 표면처리 기술이 요구된다⁶⁾. 본 연구에서는 CMOS 기술에 집적이 가능한 중첩된 양극 구조의 Si 포토다이오드를 Fig.1과 같이 설계하였다. Fig.1의 구조에서 n⁺sink 영역은 소자의 낮은 직렬저항을 제공하며, 빛이 입사되는 표면의 p⁺중첩 영역은 다이오드 동작시 n well 전체를 전계영역으로 공핍시켜 높은 광수집효율과 빠른 신호 전달에 도움을 주고 있다. 그러나 한편으로는 p⁺중첩 영역의 부적절한 적용은 좁은 광흡수 영역과 높은 접합커패시턴스를 초래하게 됨으로 광다이오드의 최적 구조설계와 공정은 고성능 PDIC의 개발에 핵심기술이라고 볼 수 있다. Fig.2는 Fig.1의 점선을 따라 본 포토

다이오드의 레이아웃 도면이다. Fig.2에서 n well과 optical window의 크기는 각각 $100\mu\text{m}\times 100\mu\text{m}$ 와 $60\mu\text{m}\times 60\mu\text{m}$ 로 나타나며, p' 중첩영역의 크기는 $30\mu\text{m}\times 30\mu\text{m}$ 로 나타나고 있다. 소자제작 과정에서는 p'(100) 구조($\rho\approx 0.01\Omega\text{-cm}$)상에 약 $8.5\mu\text{m}$ 두께의 n 에피층($\rho\approx 50\sim 60\Omega\text{-cm}$)을 갖는 웨이퍼를 기판으로 사용하였다. 공정순서로는 먼저 Si 표면에 field oxide를 형성하고 붕소(boron)를 확산하여 소자들을 격리하였다. 다음으로 n well 상에 인(phosphorous)을 확산하여 n' sink를 형성한 후 p' 중첩 영역에 붕소를 얇게 도핑하였다. 이후 공정의 마지막 단계로 빛이 입사되는 영역의 창구를 개방하고 표면 광반사 손실을 줄이기 위해 약 1000\AA 의 thermal SiO_2 를 AR막으로 성장시켰다. 공정의 마지막 단계로 금속-반도체 접촉 창구를 개방한 후 Al 금속을 증착시켜 전극을 형성하였다.

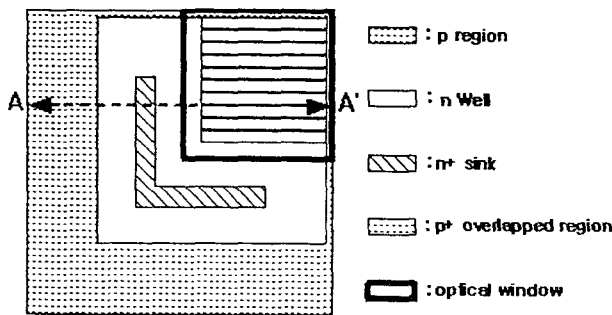


Fig.1 Layout design

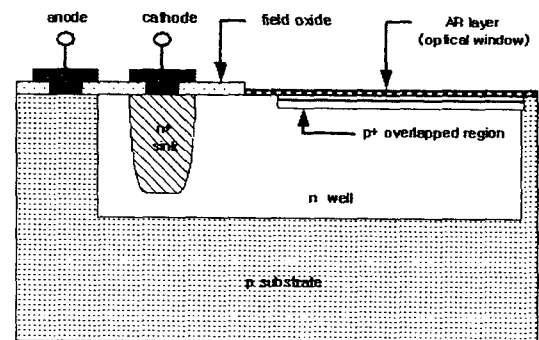


Fig.2 Cross sectional view

3. Results and Discussion

ss 1000× solar simulator 광원(AM1 스펙트럼)과 HP4145B를 이용하여 제작된 소자의 전류-전압 특성을 그리고 HP4280A를 이용하여 커패시턴스-전압 특성을 조사하였다. Fig.3은 빛을 차단한 상태에서 순방향 전압에 따른 전류값을 측정한 그림이다. 순방향 전압이 qV/nkT 보다 충분히 클 때는 Shockley 방정식으로부터 소자의 암전류-전압 관계식이 $I=I_0 \exp(qV/nkT)$ 으로 표현된다⁷⁾. 여기서 I_0 와 n 은 다이오드의 역포화전류와 이상계수이다. 역포화전류는 점근선이 전류축과 만나는 점의 좌표값으로 나타나며 점근선상의 임의점에서 다이오드의 이상계수를 계산적으로 구할 수 있다. Fig.3으로부터 얻어지는 포토다이오드의 역포화전류와 이상계수는 각각 68pA 와 1.8 로 나타나고 있다. Fig.4는 입사광 전력이 $60\text{mW}/\text{cm}^2$, $80\text{mW}/\text{cm}^2$, $100\text{mW}/\text{cm}^2$ 일 때 제작된 소자의 광전류-전압 특성이다. Fig.4에서 -3V 의 역 바이어스 상태에서 광전류는 각각 $42\mu\text{A}$, $50\mu\text{A}$, $60\mu\text{A}$ 로 나타나고 있다. 제작된 소자의 n well 면적은 10^4cm^2 으로 나타남으로 $100\text{mW}/\text{cm}^2$ 입사광 아래에서 포토다이오드에 입력되는 광전력은 $10\mu\text{W}$ 로 계산되고, 감도 특성은 $6\text{A}/\text{W}$ 로 나타난다. Fig.5는 커패시턴스-전압 특성곡선이다. -3V 의 역 바이어스 상태에서 소자 커패시턴스는 약 8.3pF 로 나타나고 있다. 실험결과 제작된 포토다이오드는 비교적 높은 감도특성과 낮은 커패시턴스 특성을 보이고 있으며 n well 영역에서 광생성된 캐리어들을 전계에 의해 드리프트 이동시킬 수 있어 신호전달 시간이 매우 빠를 것으로 기대된다. 이에 따라 본 연구에서 제안된 새로운 포토다이오드는 p' 중첩 양극에 대한 적절한 크기 설계와 공정처리가 이루어질 경우 감도×대역폭의 우수한 성능지수

(figure of merit)를 갖고 고감도, 고속 optical pick-up용 광검출기 제작 등에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

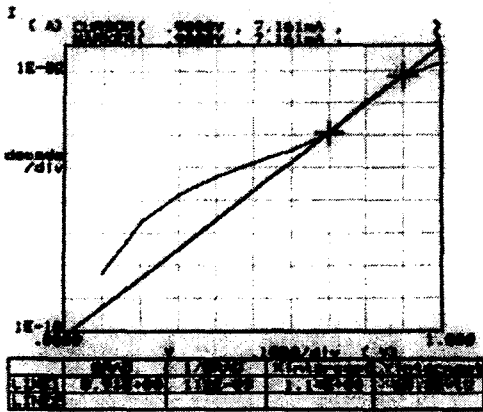


Fig.3 Dark current characteristics

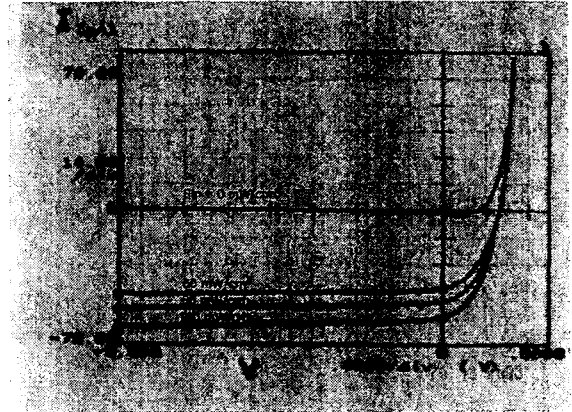


Fig.4 Photocurrent characteristics

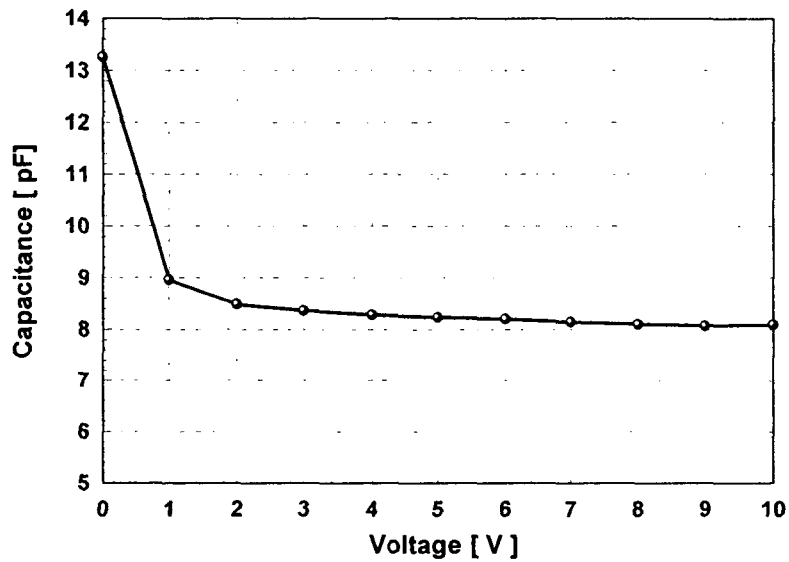


Fig.5 Capacitance voltage characteristics

4. Conclusion

DVD나 CD-ROM과 같은 광기록 처리장치의 핵심부품인 PDIC의 개발을 목표로 중첩된 양극 구조의 새로운 고속 고감도 포토다이오드를 설계하고 이의 제작기술을 연구하였다.

제작된 소자에서 n well과 optical window의 크기는 각각 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ 와 $60\mu\text{m} \times 60\mu\text{m}$ 로, p' 중첩 양극의 크기는 $30\mu\text{m} \times 30\mu\text{m}$ 로 설계되었으며 역포화전류와 다이오드 이상계수는 각각 68pA와 1.8로

나타났다. 또한 100 mW/cm^2 , AM1 스펙트럼 조건에서 -3V 바이어스 아래 측정된 광전류는 $60\mu\text{A}$ 로 나타났다. 제작된 포토다이오드는 -3V 바이어스 아래 6A/W 의 높은 감도특성과 8.3pF 의 낮은 커패시턴스 특성을 보이고 있으며, n well 영역에서 광생성된 캐리어들을 전계에 의해 드리프트 이동시킬 수 있어 신호전달 시간이 매우 빠를 것으로 기대된다. 본 연구에서 제안된 새로운 포토다이오드는 p⁺ 중첩 양극에 대한 적절한 크기 설계와 공정처리가 이루어질 경우 감도×대역폭의 우수한 성능지수(figure of merit)를 갖고 고감도, 고속 optical pick-up용 광검출기 제작 등에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

References

1. M. Yamamoto, M. Kubo and K. Nakao: Si OEIC with a Built-in Pin Photodiode, IEEE Transactions on Electron Devices, Vol.42, No.1, p.58 (1995).
2. H. Zimmermann, T. Heide and A. Ghazi: Monolithic High Speed CMOS Photoreceiver, IEEE Photon. Technol. Lett., Vol.11, p.254 (1999).
3. T. Takimoto, N. Fukunaga, M. Kubo and N. Okabayashi: High Speed Si-OEIC (OPIC) for Optical Pickup, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.44, No.1, p.132 (1998).
4. N. Fukunaga, M. Yamamoto, M. Kubo and N. Okabayashi: Si-OEIC(OPIC) for Optical Pickup, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.43, No.2, p.157 (1997).
5. Gee-Keun Chang, Sang Yeoul Yi and Chang Ki Kim: Sensitivity Improvement of the Web Patterned Si Photodiode, Korean Journal of Material Research, Vol.11, No.4, p.247 (2001).
6. M. Seto, M. Mabeoone, S. De Jager, A. Vermeulen, W. De Boer, M. Theunissen and H. Tuinhout: Performance Dependence of Large Area Silicon p-i-n Photo-detector upon epitaxial Thickness, Solid State Electronics, Vol.41, No.8, p.1083 (1997).
7. B. G. Streetman and Sanjay Banerjee: Solid State Electronic Devices, 5th Ed., Prentice-Hall, Inc., p.384 (2000).