

p⁺-cap 구조를 갖는 실리콘 pin 다이오드의 설계와 제작

장지근, 황용운, 조재욱, 임용규
단국대학교 전자컴퓨터공학과

초록

New Si pin photodiodes with p⁺-cap region have been designed and fabricated for the application in a PDIC of the optical pick-up system.

The fabricated devices were designed with the incident optical window of 120 μ m and were classified into three structures according to p⁺-cap dimensions.

As the result of experiments, the devices with the p⁺-cap dimension of 0 μ m(no cap), 65 μ m, and 120 μ m showed the sensitivity of 1.0 A/W, 0.86 A/W, and 0.6 A/W, respectively.

1. 서론

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^{1,2)}. 오늘날 광기록처리 장치의 소형화, 고성능화 요구에 따라 드라이브상의 공간을 축소하고 crosstalk나 noise 문제를 해결하기 위해 광검출기는 수신부의 구동회로와 집적되고 있으며, 많은양의 정보를 고속으로 처리하기 위한 고성능 PDIC(photodetector IC)^{3,4)}의 개발이 요구되고 있다. 본 논문에서는 고성능 Si PDIC에 집적시킬 수 있는 고속, 고감도 광검출기의 개발을 목표로 pin 구조를 기반으로 한 새로운 p⁺-cap 구조를 갖는 스플릿 광다이오드를 설계하고 이의 제작기술을 연구하였다.

2. 소자의 설계와 제작

optical pick-up용 PDIC상에는 디스크상의 신호를 검출하기 위한 RF-다이오드들과 트래킹 오차를 조정하기 위한 TE-다이오드들이 어레이 된다. 이러한 광다이오드들이 디지털 광신호에 대해 우수한 신호구분 능력과 빠른 응답을 나타내기 위해서는 높은 광전류와 고감도, 그리고 낮은 암전류와 접합커패시턴스, 그리고 높은 차단주파수와 저잡음 특성을 가져야 한다. 이를 위해 소자의 접합면적은 가능한 작아야 하며, 입사광은 충분히 넓은 전계영역에서 대부분 흡수될 수 있어야 한다. 또한 입사광의 표면 반사 및 재결합 손실을 줄이기 위한 적절한 AR막(anti reflection layer)의 형성과 표면처리 기술도 필요하다^{5,6)}. 본 실험에서는 새로운 optical pick-up용 다이오드로 그림1과 같은 기본 구조를 설계하였다. 그림1의 구조에서 n⁺-sink 영역은 소자의 낮은 직렬저항을 제공하며, 빛이 입사되는 중심부근의 p⁺-cap 영역은 다이오드 동작시 n⁻에피영역 전체를 전계영역으로 공핍시켜 높은 광수집효율과 빠른 신호 전달에 도움을 주고 있다. 그러나 한편으로 p⁺-cap 영역의 부적절한 적용은 좁은 광흡수 영역과 높은 접합커패시턴스를 초래할 수 있으며 에피층의 두께와 농도도 소자성능에 중요한 영향을 미치게 됨으로 광다이오드의 최적구조 설계는 고성능 PDIC의 개발에 핵심기술이라고 볼 수 있다.

그림2는 4개의 동일 구조를 갖는 광다이오드를 4-대칭 스플릿형으로 레이아웃한 도면이다. 그림2에서 입사광의 window 크기는 120 μ m로 나타나며, p⁺-cap의 크기들은 0 μ m(no cap), 65 μ m, 120 μ m로 구분된다.

소자제작 과정에서는 p⁺(100)구조(p ≈ 0.01 Ω -cm)상에 약 8.5 μ m 두께의 n⁻에피층(p ≈ 50-60 Ω -cm)

을 갖는 웨이퍼를 기판으로 사용하였다. 공정순서로는 먼저 Si 표면에 약5000Å의 field oxide를 형성하고 소자간의 격리영역에 붕소(boron)를 확산하였다. 다음으로 n⁻ island상에 인(phosphorous)을 확산하여 n⁺-sink를 형성한 후 p⁺-cap 영역을 개방하여 T=1050°C에서 5분간 붕소를 확산하였다. 이후 공정의 마지막 단계로 빛이 입사되는 영역의 창구를 개방하고 표면광반사 손실을 줄이기 위해 약 1200Å의 thermal oxide를 AR막으로 성장시켰다. 공정의 마지막 단계로 금속-반도체 접촉 창구를 개방한 후 Al 금속을 증착시켜 전극을 형성하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Dellos SI-150R 광원과 HP4145B semiconductor parameter analyzer를 이용하여 제작된 소자들의 전기 광학적 특성을 조사하였다. 그림3은 약 100mW/cm²의 입사광 아래에서 측정된 제작된 소자들의 광전류-전압 특성이다. 그림3에서 p⁺-cap의 크기가 0 μ m, 65 μ m, 120 μ m 인 경우 -3V의 역 바이어스 상태에서 광전류는 각각 3.6 μ A, 3.1 μ A, 2.1 μ A로 나타나고 있다. 제작된 다이오드의 입사광 면적은 60 \times 60 μ m²으로 나타남으로 입사광 전력은 3.6 μ W로 계산되고, 각각의 감도 특성은 1.0A/W, 0.86A/W, 0.6A/W로 나타난다. 제작된 소자들은 p⁺-cap의 크기에 따라 감도특성이 떨어지는 경향을 보였는데, 이는 p⁺-cap 영역에서 광생성된 캐리어들의 재결합 손실 증가에 기인한다.

실험에서 p⁺-cap의 크기가 65 μ m인 광다이오드 경우 감도 저하는 14%로 나타났는데, p⁺-cap의 삽입으로 인한 이러한 감도 저하는 이 영역의 확산기술을 조절하여 접합깊이를 매우 얇게 나타낼 경우 크게 개선될 수 있다. 광다이오드가 감도의 큰 손실 없이 대역폭이 증가되면 감도 \times 대역폭의 성능지수(figure of merit)면에서 우수한 특성을 갖게 된다. 광다이오드 제작에서 p⁺-cap 구조의 적용은 명백히 n⁻에피 영역에서 광생성된 캐리어들을 넓은 전계영역을 통해 드리프트 이동시킬 수 있어 신호전달 시간이 매우 빠를 것으로 기대된다⁷⁾. 따라서 본 연구에서 제안된 새로운 광다이오드 구조는 p⁺-cap 영역에 대한 적절한 크기 설계와 공정처리가 이루어질 경우 고감도, 고속 optical pick-up용 광검출기 제작에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

DVD나 CD-ROM과 같은 광기록 처리장치의 핵심부품인 PDIC의 개발을 목표로 p⁺-cap 구조를 갖는 새로운 고속 고감도 광검출기를 설계하고 이의 제작기술을 연구하였다.

4-대칭 스플릿 광다이오드 구조에서 입사광의 window 크기를 120 μ m로 나타내고, p⁺-cap의 크기를 0 μ m(no cap), 65 μ m, 120 μ m로 설계하여 소자를 제작한 결과 감도특성은 각각 1.0 A/W, 0.86 A/W, 0.6 A/W로 나타났다.

제작된 소자들은 p⁺-cap의 크기에 따라 감도특성이 저하되는 경향을 보였는데, 이는 p⁺-cap 영역에서 광생성된 캐리어들의 재결합 손실에 그 원인이 있다. 반면 p⁺-cap 구조를 갖는 광다이오드는 넓은 전계영역을 통해 캐리어들을 드리프트 이동시킬 수 있어 신호전달시간이 매우 빠를 것으로 기대된다. 소자제작에서 p⁺-cap 영역의 공정기술을 최적화하여 접합깊이를 매우 얇게 나타낼 경우 p⁺-cap의 적용으로 인한 감도손실은 크게 줄어들 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서 제안된 새로운 소자는 감도 \times 대역폭의 관점에서 고속, 고감도 optical pick-up용 광검출기 제작에 적합한 구조로 판단된다.

5. 참고문헌

1. N.Ohtsuka, T.Nagahama, et al.: Holographic Pick up for CDs Uses 3-beam Method, J. Electron. Eng., Vol.28, pp. 100(1991).
2. Y.Kurata, et al.: Three Beam CD Optical Pickup Using Holographic Optical Element, Sharp Technical Report, Vol.42, pp.45(1989).
3. T.Takimoto, et al.: High speed Si-OEIC(OPIC) for Optical Pickup, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 44, No.1, pp.132-142(1998).
4. N.Fukunaga et al.: Si-OEIC(OPIC) for Optical Pickup, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 43, No.2, pp.157-164(1997).
5. Gee-Keun Chang, et, al.: Sensitivity Improvement of the Web Patterned Si Photodiode, Korean Journal of Material Research, Vol. 11, No.4, pp. 247-250(2001).
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, Vol. 41, No. 8, pp. 1083-1087(1997).
7. B.G. Streetman : Solid State Electronic Devices, 5th ed., Prentice-Hall, Inc., pp. 384-386(2000).

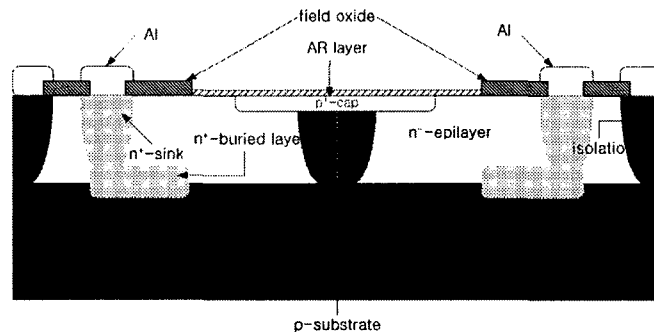


그림1. p⁺-cap 구조를 갖는 optical pick-up 용 광다이오드

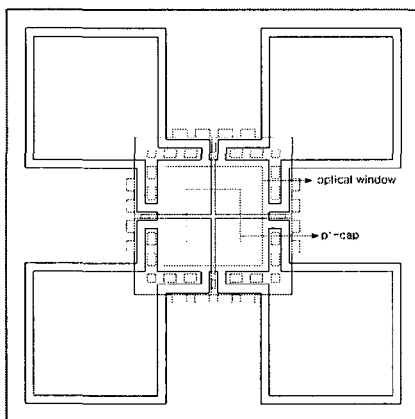


그림2. 레이아웃 도면

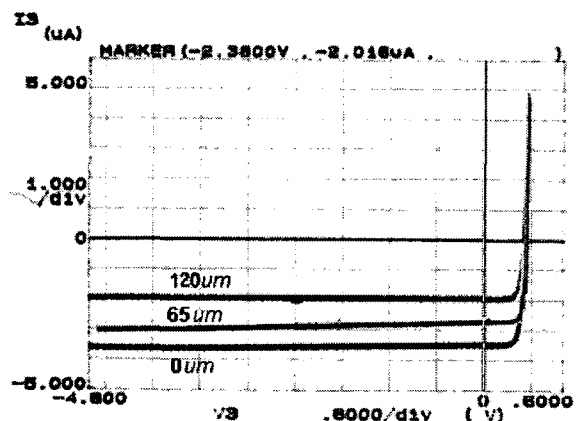


그림 3. 제작된 소자의 광전류-전압 특성