

Porous Si를 이용한 UV Detector

جو주열 · 민남기 · 김석기 · 홍석인
고려대학교

UV Detector with Porous Si

Joo Yul Ko · Nam Ki Min · Suk Ki Kim · Suk In Hong
Korea University

Abstract - 본 논문에서는 Porous Si(PSi)의 photoluminescence(PL)특성을 이용한 UV detector를 이론적으로 고찰하고 제작하였다. PSi의 PL에 의해 발생하는 빛의 파장 파장과 photodiode의 흡수영역을 최적화하여 UV detector의 효율을 극대화 시켰다. 제작된 PSi detector는 기존의 Si에 비해 반응 표면적을 증가시킬 수 있다는 장점이 있어 optical biosensor에 응용이 기대 된다.

1. 서 론

광통신이나 기계 산업이 발전함에 따라 여러 가지 photodetector가 필요하게 되었다. 특히 오존 관측용 UV detector, 핵반응로 관측용 센서, 반도체 공정에 사용하는 UV 파장 측정용 photodetector로서 UV detector를 활용하기 시작했다. 그러나 기존의 Si photodetector의 경우 UV 파장에 대한 흡수계수가 급격히 증가하여 침투 깊이가 수십 Å 정도에 불과하기 때문에 실용적인 detector를 만들기가 곤란하다[1]. 따라서 UV의 경우 화합물 반도체를 이용한 photodetector가 주로 사용된다. 그러나 이는 제조 공정이 복잡하고, 주변 회로의 집적화가 곤란할 뿐만 아니라, 또 고가로 된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 양극산화법으로 형성된 PSi를 이용하여 UV를 가시광선으로 변환한 후 PSi 하부에 있는 photodiode로 검출하는 방식을 선택하였다. 이는 기존의 Si에 비해 광학적 흡수율이 크며 반사 방지막 코팅이 불필요하다는 장점이 있다[2,3].

2. UV Detector 시뮬레이션

본 연구에서 제시하는 UV detector에 대한 시뮬레이션 과정은 다음과 같다. 우선 시뮬레이션을 간단히 하기 위해서 다음과 같은 가정을 하였다. 제작된 PSi가 PL의 최대 파장은 610nm이다(그림 5). 이때 PL의 external quantum efficiency(EQE)가 1%이상이다[4]. PL에 의해 발광하는 빛이 PSi층 하부에 있는 detector에 전달되는 양을 40%라고 가정한다. 이는 발광하는 빛의 절반만이 detector로 향하게 되고 그중 81%만이 detector에서 흡수된다. 따라서 UV에 의해 들어온 빛이 detector에 흡수되는 양은 전체의 0.4%가 된다고 가정한다. 위와 같은 조건에서, detector를 그림 1과 같은 간단한 등가 회로로 생각하고[5] SPICE를 이용하여 출력 특성을 시뮬레이션하였다.

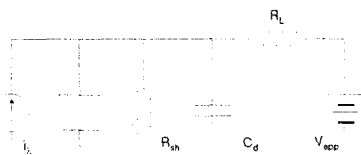


그림 1. photodetector의 등가회로

그림 2는 광전력이 1000w/cm², 100w/cm², 50w/cm²에 대한 시뮬레이션 결과이다. 각 광전력에 대한 광전류의 크기는 1.460mA, 0.146mA, 0.073mA이다.

그림에서 photocurrent는 빛의 세기에 비례해서 증가함을 볼 수 있다.

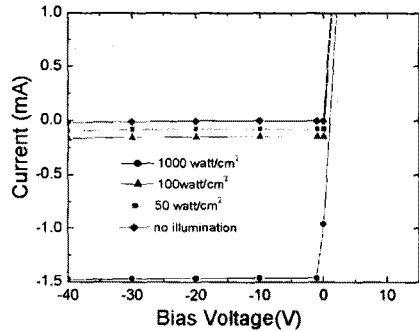


그림 2. UV detector의 I-V curve

3. UV detector 제작 및 특성

비저항이 16~23Ω·cm인 단면 폴리싱 n-type Si 웨이퍼를 substrate로 하여 제작하였다. UV detector를 만들기 위한 전 처리 공정으로 RCA 표준 세척 공정을 통해 웨이퍼 크리닝을 한 다음 thermal oxidation 공정을 이용하여 O₂ 분위기 1000℃에서 SiO₂를 5000 Å로 oxidation하였다.

pn junction을 형성하기 위해 photolithography 공정을 이용하여 doping region을 패터닝한다. SiO₂를 mask로 하여 ion implanter를 통해서 boron을 에너지 50keV로 dose는 2E14#/cm²로 주입하였다. 이는 주로 PSi에서 PL에 의해 발광하는 빛의 최대 파장 영역이 610nm임으로 이 파장 영역대에서 빛이 Si에 투과하여 약 81%가 흡수되는데 필요한 optical length가 2.29μm이다. 이때 이온 주입을 통해 얻은 junction depth가 1.107μm 이고 pn junction에 의해 형성된 depletion layer width가 no bias 상태에서 0.988μm 이므로 applied voltage가 -0.1V이상만 되어도 필요한 2.29μm optical length을 얻을 수 있다. 이후에 RTA 공정을 통해 annealing을 하였다. Metal contact을 위해 Al을 4000Å 두께로 sputtering한 후 RTP 공정을 하였다.

다음 photolithography 공정을 이용 Al을 선택적으로 에칭한다. 이 공정이 끝나면 기존의 pn junction을 이용한 Si photodetector(reference detector)가 된다. 이렇게 만들어진 소자에 그림 4와 같은 양극산화 장치를 이용하여 PR mask를 이용하여 선택적으로 PSi를 형성한다. 이때 만들어진 detector의 면적은 3600μm×4600μm이며 sensitivity의 증가를 위해 면적을 크게 만들었다.

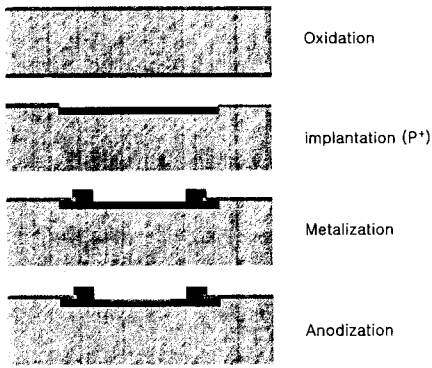


그림 3. 제작 과정

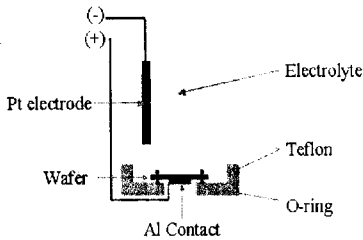


그림 4. 양극 산화 장치 cell

표 1은 PSi를 형성하는 조건이다.

표 1. PSi 형성 조건

electrolyte	HF(48%):ethanol(95%) = 1:2
etching time	1min 30sec ~ 3min
power supply	15V~20V
illumination	UV & fluorescence
temperature	room temperature

PSi의 PL 특징은 PSi의 형성 조건에 따라 피크 에너지가 1.8~2.1eV영역에서 변화된다. 그림 5는 제작한 PSi의 PL 스펙트럼을 나타낸 것으로, 스펙트럼은 1.65-3.54eV 영역에 존재하고, 피크 파장은 610nm이다.

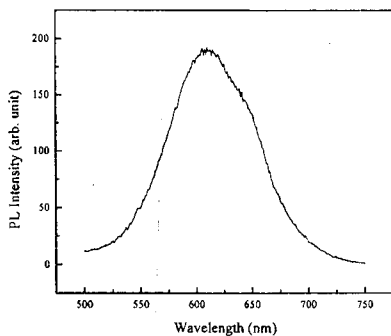


그림 5. PL 스펙트럼
(under illumination of 365 nm.)

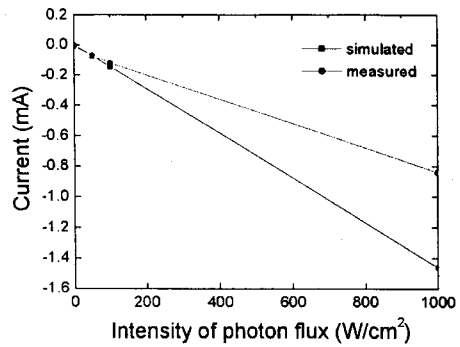


그림 6. UV detector 특성 ($V_{app} = -5V$)

그림 6은 UV detector의 시뮬레이션 결과와 측정된 결과를 비교한 그래프이다. 그림에서 보면 알 수 있듯이 실제 측정된 값은 시뮬레이션 결과보다 작은 전류가 흘렀다. 이는 가정된 PL 이론 효율과 실제 효율 사이에 차이가 생길 수 있으며, 또 입사된 UV의 일부가 PSi층을 통과하여 Si photodiode에 흡수되었을 가능성이 있다. 그리고 빛이 PSi에 의해 반사되는 양을 시뮬레이션 시에는 무시하였다. 이런 이유들로 인해 측정치와 시뮬레이션 결과가 일치하지 않는다고 생각 할 수 있다.

3. 결 론

기존의 Si detector에서 측정이 어려운 UV파장의 빛을 PSi의 광루미네선스(PL) 특성을 이용하여 가시광선 영역으로 변환한 후 하부에 있는 photodiode로 측정하는 방식을 제시하였다. 제시한 소자를 간단한 등가 회로를 이용하여 PSPICE를 가지고 시뮬레이션을 하였다. 또 PSi 층 아래에 있는 diode의 최대 흡수 파장을 PSi에서 발광하는 빛의 최대값과 일치시킴으로써 효율의 증가 시켰다. 제작한 detector는 기존의 Si detector와는 달리 별도의 반사 방지막을 사용하지 않는다는 장점을 가지고 있으며 Si를 이용하여 제작하였기 때문에 기존의 화합물 반도체에 비해 상당히 공정이 단순하며 detector의 외부 회로를 집적화 시킬 수 있으며 저가로 만들 수 있다.

PSi 형성 조건을 여러 가지로 변화시킴으로써 detector는 다양한 특성을 보일 것으로 예상된다. 또한 anodic bonding을 이용한 소자의 packaging을 통하여 성능을 개선시킬 수 있다. 현재 본 광 센서를 이용한 optical biosensor를 연구 중에 있다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특장기초연구(과제번호:1999-2-307-001-3)지원으로 수행되었음.

(참 고 문 헌)

- [1] Donald.A.Neamen, Semiconductor Physics and Device, 610, 1992
- [2] M.G.Berger, C.Dieker, M.Thonissen, L.Vescan, H.Luth, H.Munder, W.Theiβ, M.Wernke, P.Grosse, Appl.Phys. 27, 1333, 1994
- [3] R.J.Martin-Palma, P. Herrero, R.Guerrero-Lemus, J.D.Moreno, J.M.Martinez-Duart, J.Mat.Sci. Appl. Phys. Lett.17, 854, 1998
- [4] L.T.Canham, T.I.cox, A.Loni, A.J.Simons, Applied Science, 102, 436, 1996
- [5] J.Wilson, J.F.B.Hawkes, Optoelectronics, 281, 1988