

나노 다공질 실리콘 다이어프램에 캐리어 주입을 위한 전극 형성 및 응용

표 성열, 강 철구, 강 문식, 홍 석인, 민 남기  
고려대학교

Formation of electrode for carrier injection into nano-porous silicon diaphragm and its applications

Seong-Yeol Pyo, Chul-Goo Kang, Moon-Sik Kang, Suk-In Hong, Nam-Ki Min  
Korea University

**Abstract** - 본 논문은 Pt/Ti 박막을 HF-ethanol 혼합 용액에 대한 마스크 물질과 오믹 전극으로 사용하였다. 다공질 실리콘 층에 정공과 전자의 주입을 용이하게 하기 위해 이온 주입 공정으로 애노드(anode)와 캐소드(cathode) 전극을 실리콘 다이어프램에 구성하였다. 실리콘 다이어프램 영역에 정전압을 인가하여, 전기화학적 방법으로 관통된 PSi 층을 다이어프램 영역에 성장시켰다. 또한, 제작된 소자를 UV에 대한 광 특성을 고찰하였다.

2. 실험

본 논문은 먼저 비저항이 1~10Ω·cm인 n형 면방향(100) 실리콘 웨이퍼에 SiO<sub>2</sub>를 4,000Å 성장시킨다. SiO<sub>2</sub>로 에칭 마스크로 사용하여 TMAH 용액(20wt%) 내에서 용액 온도 80℃를 유지하면서 이방성 에칭을 실시하여 50~100μm 두께의 실리콘 다이어프램을 제작하였다. 애노드와 캐소드 전극을 형성하기 위해 포토리소그래피 공정으로 SiO<sub>2</sub>를 에칭하고, 이온 주입 공정을 사용하여 에너지 30keV, 10<sup>15</sup>/cm<sup>2</sup>의 도즈(dose)량으로 인(phosphorus)을 n<sup>+</sup> 영역에, 붕소(boron)를 p<sup>+</sup> 영역에 주입하여 캐소드와 애노드 영역을 형성한다. n<sup>+</sup>과 p<sup>+</sup> 영역을 활성화하기 위해 RTP(rapid thermal process) 공정으로 진공 분위기에서 900℃, 30초간 어닐링(annealing)을 실시한다. Pt/Ti 박막을 증착하기 위해 RF 스퍼터를 이용하여 티타늄(Ti) 200Å, 백금(Pt) 4000Å를 순서대로 증착한다. Ti를 200Å 이상으로 증착하면 Pt위에 힐록(hillock)이 발생되므로, 힐록이 발생하지 않는 200Å를 증착하였다[10,11]. 스퍼터 압력은 5×10<sup>-3</sup>mbar이고, 포토레지스터의 특성을 변하지 않기 위해서 기판 온도를 100℃에서 증착한다. Pt/Ti 박막을 증착한 후, lift-off 공정으로 패터닝하고, RTP 공정으로 Ar 분위기, 700℃, 30초간 어닐링을 실시하여 오믹 접촉을 형성한다. PSi를 형성할 때 실리콘 기판 뒷면에 오믹 접촉을 위해 Al를 증착하고, 어닐링을 실시한다. PSi가 형성될 영역의 SiO<sub>2</sub>를 에칭한 후 양극 산화반응으로 HF-ethanol 혼합 용액 내에서 PSi를 성장시켜 다이어프램을 관통하였다.

1. 서 론

다공질 실리콘(PSi)은 1956년 Uhlir[1]에 의해 처음 발견된 이후 초기 연구는 주로 SOI와 같은 집적회로의 분리기술 개발에 집중되었다[2]. 그러나, Canham[3]에 의해서 PSi로부터 광루미네선스(photoluminescence:PL) 현상이 발견된 이후부터 곧바로 전계루미네선스(electroluminescence:EL)[4,5]와 화학루미네선스(chemiluminescence:CL)[6]가 보고되었다. 또한, PSi는 단결정 실리콘에 비해 독특한 특성을 가지고 있기 때문에 광소자와 마이크로센서의 재료로 주목받고 있으며, 특히, 센서 소자의 집적화, 소형화 추세에 따라 광 센서, 화학 센서, 바이오센서 등에 응용이 기대된다.

PSi를 HF-ethanol 혼합 용액 내에서 특정한 위치에 선택적으로 성장시킬 때 HF 용액에 대한 마스크 물질이 필요하게 된다. Ohji등[7]은 질화막(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiN등)을 마스크 물질로서 사용하는데, 이 물질들을 패터닝하기 위해서는 건식 에칭 공정이 필요하다. 이 경우 가장 큰 문제는 PSi 영역에 캐리어 주입에 필요한 오믹 전극을 형성하는 것이다. 알루미늄(Al) 전극을 사용하면 증착 및 에칭 공정에서 다공질 실리콘에 영향을 줄뿐만 아니라, 공정수가 증가한다.

PSi에 전극을 형성하는 기존 방법은 단결정 실리콘 웨이퍼에 먼저 PSi를 성장시킨 후 Al을 증착하여 전극을 형성한 구조와 전도성 폴리머(e.g. 9-vinyl carbazole)를 coating하고, 그 위에 ITO(indium tin oxide) 전극을 형성한 구조가 있다[8,9]. 이러한 구조들은 금속과 PSi사이에 Schottky contact이 형성되고, PSi과 실리콘 기판 사이에 heterojunction이 형성되어, 캐리어의 이동을 방해하며, 정공과 전자를 동시에 주입하지 못한다. 또한 금속을 증착할 때 shadow mask를 사용해야 하므로 센서와 같은 소자를 제작할 때 정렬(align) 공정에서 어려움이 발생된다.

본 논문에서는 Pt/Ti 박막을 HF-ethanol 혼합 용액에 대한 마스크 물질로 사용하며, 동시에 오믹 전극으로 사용하였다. Pt/Ti 박막은 lift-off 공정으로 패터닝한 후 실리콘 다이어프램 영역에 전기화학적 방법으로 정전압을 인가하여 PSi를 다이어프램 영역에 성장시켜 관통시켰다. 또한, 이온 주입 공정을 이용하여 p<sup>+</sup>과 n<sup>+</sup> 영역을 형성시켜 애노드와 캐소드 전극을 구성하여 PSi 층에 동시에 정공과 전자의 주입을 용이하게 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 n-형 다공질 실리콘 다이어프램의 특성

실리콘 다이어프램은 용액 온도 80℃에서 12시간 동안 이방성 에칭으로 제작하였다. 50~100μm 두께의 실리콘 다이어프램을 제작하기 위해서는 13시간 내지 14시간이 필요하다.

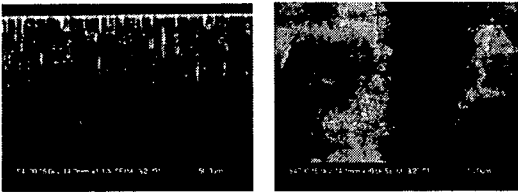
기존에는 PSi 성장시 3 전극법을 사용하여 정전류를 인가하였으나[12], 본 논문에서는 2 전극법으로 정전압을 인가하였다. HF(48wt%) : Ethanol(95%) = 1 : 3(12vol%)의 전해질 조성을 사용하였으며, 온도는 상온, 정전압 20V 조건에서 PSi를 성장하였다. 본 논문에서 사용한 양극산화 반응장치는 single tank cell 구조이며, n형 실리콘은 PSi를 성장할 때 정공이 필요하므로, 반응장치 상부에서 UV 램프로 빛을 조사하여 정공을 생성하여 공급하였다[13].

먼저 양극산화반응 조건을 최적으로 확립하기 위해 n형 실리콘 벌크에서 PSi를 성장시켰다. 그림 1은 인가 전압 20V, 시간 30분 동안에 성장된 PSi의 SEM 사진이다. 기공(pore)의 분포와 PSi 층이 균일하며, (100)면에 수직 방향으로 성장하였다. 그림 1(b)에서 기공의 크기는 약 200nm 관측되었다.

그림 2는 위와 같은 조건으로 인가 전압이 20V일 때

25분간 다이어프램에 PSi를 성장할 때 전압과 전류의 시간적 변화이다. 양극산화반응 동안에 PSi이 성장하여 다이어프램을 관통되는 시점(A 부분)을 알 수 있다. PSi이 성장하여 다이어프램을 관통되면 HF 용액이 다이어프램을 통과하여 전압원의 (+) 전극과 반응하여 전압과 전류가 진동하게 된다. 반응 시간 15분(A 부분)까지의 인가 전압 변동율이 0.0138%이므로 인가 전압은 일정하다고 볼 수 있다. 따라서, 실리콘 다이어프램을 관통하는 시간은 실리콘 다이어프램의 두께에 따라 15~25분으로 추정된다.

그림 3(a)는 다이어프램을 관통된 PSi의 단면 SEM 사진이며, Pt/Ti 박막 아래(p<sup>+</sup>와 n<sup>+</sup> 영역)는 PSi이 형성이 안 되었고, 그림 3(b)는 Pt/Ti 박막 아래 부분을 확대한 사진으로 기공이 형성되었음을 보여 준다.



(a) 단면 (b) (a)를 확대한 사진  
그림 1 n형 다공질 실리콘의 SEM

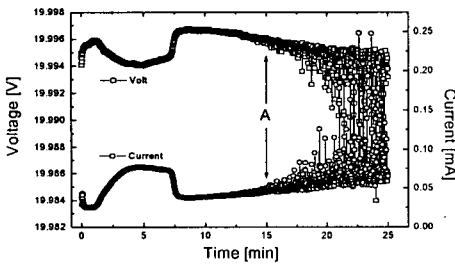
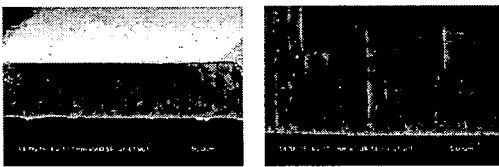


그림 2 인가 전압과 전류의 시간적 변화



(a) 단면(Pt/Ti 부분) (b) 단면(bottom 부분)  
그림 3 다공질 실리콘 다이어프램의 SEM 사진

### 3.2 제작된 p<sup>+</sup>-PSi-n<sup>+</sup> 소자의 UV 광특성

UV 광원의 photo flux의 강도(intensity)는 UV 램프와 제작된 소자와의 거리를 조절함으로써 변화시켰다. UV 광원은 352nm의 peak wavelength와 0.5W의 출력을 가지는 BLB(Blacklight Blue) 램프를 사용하였다. GaAs로 만들어진 G5842 다이오드를 BLB 램프의 출력을 측정하는데 사용하였으며, peak sensitivity wavelength는 370nm이다.

그림 4는 여러 photon flux에 대한 제작된 소자의 I 특성 곡선이다. photon flux가 증가함에 따라 전류가 증가함을 알 수 있으며, 기존의 다이오드 특성 곡선과는 다른 특성을 보이며, 입력전압 약 2.5V이상에서는 기울기가 완화된 것을 알 수 있다.

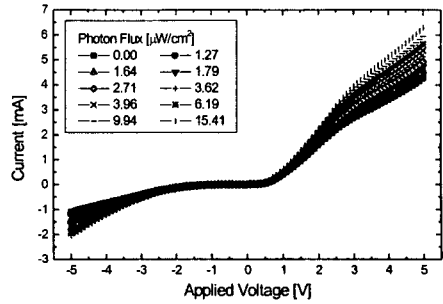


그림 4 p<sup>+</sup>-PSi-n<sup>+</sup> 소자의 IV 특성 곡선

## 4. 결 론

본 논문은 다공질 실리콘에 캐리어 주입을 위한 전극 형성과 제작된 p<sup>+</sup>-PSi-n<sup>+</sup> 소자의 UV에 대한 특성을 고찰하였다. 먼저, 벌크 마이크로머시닝 기술을 이용하여 TMAH 용액(20%)에서 50~100μm 두께의 실리콘 다이어프램을 제작하였다. 이온 주입 공정으로 애노드와 캐소드 전극을 형성하였으며, 다이어프램 영역에 선택적으로 PSi를 성장하기 위해서 Pt/Ti를 마스크 물질과 오픈 전극으로 사용하였다. Pt/Ti 박막을 증착한 후 lift-off 공정으로 패터닝을 하였다. HF-ethanol 혼합 용액(12vol%) 내에서 입력 전압 20V, 시간 25분 동안 PSi를 다이어프램에 성장하여 관통하였다. 그림 4와 같은 IV 특성이 관측되었으며, UV detector의 가능성을 제시하였다.

## 감사의 글

본 연구는 2000년도 서울대학교 반도체공동연구소의 공동 시설 이용지원 프로그램의 지원을 받아 연구되었음.

## (참 고 문 헌)

- [1] A. Uhler, Bell Tech. J., 35, 333 (1956)
- [2] K. Imai *et al.*, IEEE Transactions on Electron Devices, ED-31, 297 (1984)
- [3] L. T. Canham, Applied Physics Letters, 57, 1046 (1990)
- [4] A. Halimaoui *et al.*, Applied Physics Letters, 59, 304 (1991)
- [5] A. Richter *et al.*, IEEE Electron Device Letters, 12, 691 (1991)
- [6] P. McCord *et al.*, Science, 257, 68 (1992)
- [7] H. Ohji *et al.*, SPIE, 3223, 189 (1997)
- [8] R. G. Mathur *et al.*, Thin Solid Films, 312, 254 (1998)
- [9] G. Wakefield *et al.*, Materials Science and Engineering, B51, 141 (1998)
- [10] H. J. Nam *et al.*, Thin Solid Films, 371, 264 (2000)
- [11] X. Fu *et al.*, Materials Letters, 44, 70 (2000)
- [12] R. L. Smith *et al.*, Journal of Applied Physics, 71, R1 (1992)
- [13] O. Bisi *et al.*, Surface Science Reports, 38, 1 (2000)