

결정의존성 식각/기판접합을 이용한 MEMS용 구조물의 제작

Si Micromachining for MEMS-IR Sensor Application

박흥우
주병권
박윤권
박정호
김철주
염상섭
서상희
오명환

한국과학기술연구원 정보재료소자연구센터
한국과학기술연구원 정보재료소자연구센터
서울시립대학교 전자공학과
고려대학교 전자공학과
서울시립대학교 전자공학과
한국과학기술연구원 정보재료소자연구센터
한국과학기술연구원 정보재료소자연구센터
한국과학기술연구원 정보재료소자연구센터

Heung-Woo Park
Byeong-Kwon Ju
Yun-Kwon Park
Jung-Ho Park
Chul-Ju Kim
S. S. Yom
Sang-Hee Suh
Myung-Hwan Oh

Div. of Electronics and Information Technology
Div. of Electronics and Information Technology
Dept. of Electronics Eng., The University of Seoul
Dept. of Electronics Eng., Korea University
Dept. of Electronics Eng., The University of Seoul
Div. of Electronics and Information Technology
Div. of Electronics and Information Technology
Div. of Electronics and Information Technology

Abstract

In this paper, the silicon-nitride membrane structure for IR sensor was fabricated through the etching and the direct bonding. The PT layer as a IR detection layer was deposited on the membrane and its characteristics were measured. The attack of PT layer during the etching of silicon wafer as well as the thermal isolation of the IR detection layer can be solved through the method of bonding/etching of silicon wafer. Because the PT layer of c-axis orientation raised thermal polarization without polling, the more integration capability can be achieved. The surface roughness of the membrane was measured by AFM, the micro voids and the non-contacted area were inspected by IR detector, and the bonding interface was observed by SEM. The polarization characteristics and the dielectric characteristics of the PT layer were measured, too.

Keywords: orientation dependent etching, wafer direct bonding, PbTiO₃ layer, IR sensor, sol-gel

I. 서론

적외선센서(Infrared(IR)-Sensor)에는 일반적으로 두 가지 타입이 있다. 첫째는 광전도형 또는 광전압형 효과에 의한 전자홀 쌍의 광학적 여기를 이용한 양전자(photon)검출기가 사용되고 있다[1-2]. 양전자 검출기는 한정된 파장의 범위에서 사용된다는 점과 dark전류에 의한 센서의 감도가 한정되므로 이를 줄이기 위하여 77K(Kelvin) 아래로 온도를 내려야 한다. 그러므로 냉각기를 설치하는 단점이 발생되고 있다. 둘째는 IR 방사에 의한 온도변화를 이용한 열형 검출기가 있다. 열형 검출기는 크게 초전형과 저항형이 사용되고 있다. 열형 검출기는 상온에서 별도의 냉각기의 필요 없이 사용할 수 있어 비용의 절감과 집적도를 높일 수 있으며, 또한 광범위한 파장을 흡수할 수 있는 장점을 가지고 있다.

현재 사용되고 있는 열형 센서의 구조는 대부분

구조체 형성 후 최종적으로 멤브레인을 형성하는 방법이 사용되고 있다[3-4]. 그러나 이 방법은 이미 형성된 검출기로 사용될 구조체가 멤브레인 형성시 식각액에 손상을 입는 문제점이 발생되고 있다. 이에 따라 식각시 소자를 보호하려는 연구가 광범위하게 연구되고 있으며, 이에 본 논문에서는 실리콘 표면 미세 가공기술을 이용하여 온도변화에 따른 전기분극 변화를 표면 전하량 변화로 검출하는 초전 특성을 가진 PT(PbTiO₃) 물질을 검출기로 사용하였고, 위의 문제점을 해결하기 위하여 기판접합/기판에칭을 이용하여 실리콘 질화막 멤브레인(membrane)을 형성하였다. 실리콘 질화막을 멤브레인 재료로 이용하면, 멤브레인 위에 소자를 형성할 경우 소자를 열적으로 절연시킬 수 있으며 박막의 균일한 멤브레인을 제작할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 기판접합/기판식각을 이용하여 실리콘 질화막 멤브레인을 공동(cavity) 위에 형성함으로써, 멤브레

인 위에 초전 특성이 우수한 막을 형성할 수 있으며 저항형 적외선센서 등에의 응용도 가능하다.

II. 실험방법

본 실험에서는 4인치 (100) p-type 실리콘 기판을 사용하였다. 기판 1은 실리콘기판 위에 1 μ m의 열산화막을 성장시킨 후, 패터닝을 통하여 기판식각을 위한 2mm \times 2mm 크기의 윈도우를 형성하고 KOH 용액[5]을 이용하여 80 μ m 깊이의 공동을 형성하였다. 기판 2는 실리콘기판 위에 500nm의 실리콘 열산화막을 성장시킨 후, 300nm 두께의 실리콘 질화막을 증착하였다.

실리콘 질화막은 저온기상증착법으로 증착하였으며 사용된 KOH 용액의 조성비는 KOH:Water = 44g:100ml(at 80 $^{\circ}$ C, 실리콘기판의 (100)면에 대한 식각속도는 1.4 μ m/min이다)이다.

기판 1은 접합을 위하여 RCA 세척을 한 후 친수화처리되었으며, 친수화처리 용액으로는 70 $^{\circ}$ C 질산 용액을 사용하였다[6]. 기판 2 역시 질산 용액으로 표면처리하여 초순수에 린싱한 후 건조되었다. 이렇게 준비된 기판 1과 기판 2는 상온, 상압의 class 100 환경에서 공동이 형성된 면과 실리콘질화막이 마주보도록 초기접합 되었으며 1100 $^{\circ}$ C에서 4시간 동안의 열처리를 통하여 접합력을 향상시켰다. 접합된 기판쌍에 대하여 KOH 용액으로 기판 2의 실리콘기판 부분을 식각하여 Si₃N₄(0.3 μ m)/SiO₂(1 μ m)/Si 멤브레인 구조체를 제작하였다. 이렇게 제작된 멤브레인 위에 적외선 검출기능을 갖는 소자를 형성하기 위하여 전자선증착기로 Ti막과 Pt막을 증착한 후, sol-gel법으로 PT막을 형성하였다.

제작된 멤브레인의 표면거칠기를 AFM(atomic force microscope)을 이용하여 측정하였고 적외선추정기(Infrared detector)로 접합계층에 존재하는 void를 관찰하였으며 push-pull meter로 tensile strength를 측정하였다. 또한, 접합계면을 SEM(scanning electron microscope)을 이용하여 관찰하였다. PT 박막의 특성을 알아보기 위하여 분극특성과 유전상수를 알아보았으며, PT 박막의 결정방위성을 알아보기 위하여 XRD(X-ray diffraction)를 이용하였다.

III. 기판식각/기판접합을 통한 구조체 제작

III-1. 공동 제작

적외선 검출기의 감도(sensitivity)를 높이기 위해서는 검출부와 기판간의 열적 격리가 필요하다. 이를 위하여 검출부분의 아래에 존재하는 열 양도체인 실리콘 기판을 제거하기 위하여 공동을 형성하였다. 기존에 사용되어오던 적외선센서 제작방법은 검출부분을 형성한 후 기판을 식각함으로써 검출막

의 훼손이 문제가 되어 왔다. 본 논문에서는 검출막 형성 전에 공동을 형성함으로써 이 문제를 해결하고자 하였다. 형성된 공동의 크기는 2mm \times 2mm 이고 깊이는 80 μ m이며 식각용액으로는 KOH 수용액을 이용하였다.

III-2. 실리콘 직접접합

그림 1에 기판접합쌍의 적외선사진을 보였다. 그림에서 사각형 부분이 공동이 존재하는 부분이며 비접합영역 및 void가 존재하지 않고 접합이 잘 이루어진 것을 알 수 있다. 제작된 공동위에 멤브레인으로 사용될 실리콘질화막을 형성하기 위하여 기판 2와 직접접합하였다. 그림 2에 공동을 형성하고 직접접합한 구조의 SEM 사진을 보였으며 그림 3에는 접합계층의 SEM 사진을 보였다.

제작된 접합기판쌍에 대하여 접합강도를 측정하였다. 측정된 접합강도는 질화막과 열산화막의 접합강도로서 약 90Kg \cdot 중/cm² 이다. 이 값은 실리콘기판의 직접접합시 얻어지는 약 200Kg \cdot 중/cm² 값보

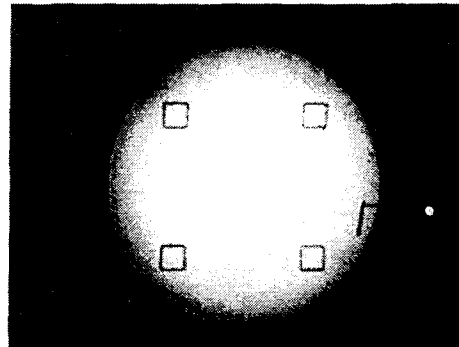


그림 1. 기판 접합쌍의 적외선 사진
Fig. 1 IR photograph of the bonding pair

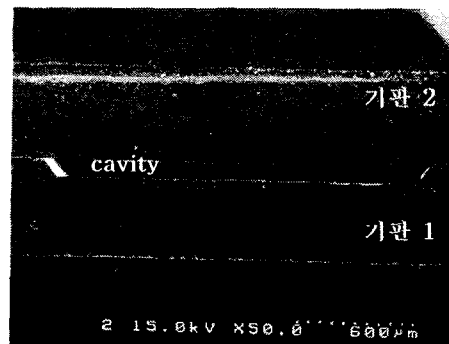


그림 2. 공동형성/직접접합한 구조의 SEM 사진
Fig. 2 SEM photograph of the cavity formed/silicon wafer direct bonded structure.

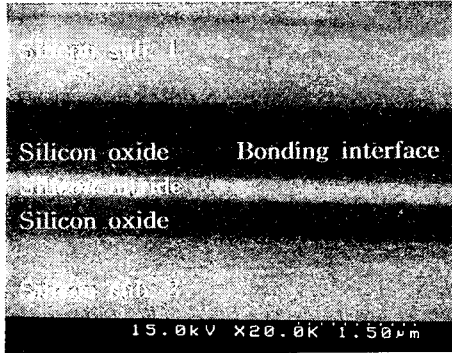


그림 3. 접합경계층의 SEM 사진
Fig. 3 SEM photograph of the bonding interface

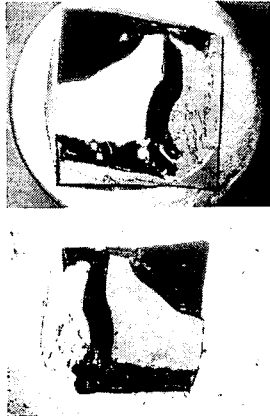


그림 4. 접합강도 측정으로 분리된 시료의 사진
Fig. 4 Photograph of the separated bonding pair by the tensile test

다는 적은 값으로서, 상대적으로 실리콘 질화막과 실리콘 열산화막의 접합강도가 약하다는 사실을 알 수 있다.

그림 4에 보인 분리된 접합쌍의 사진으로부터 접합경계면의 식별이 가능하며, 기판을 가로질러 분리가 일어날 정도로 접합강도가 큰 것을 알 수 있다.

III-3. 멤브레인 제작

기판식각/기판접합을 통하여 제작된 구조체 위에 적외선 검출기로 사용될 Pt/PT/Pt 막을 형성하였다. 멤브레인 형성을 위하여 기판접합쌍의 기판 2부분을 KOH 용액으로 모두 식각하였다. 이때, 접합경계층에 존재하는 실리콘 산화막이 기판식각 과정에서 식각장벽층으로 작용한다.

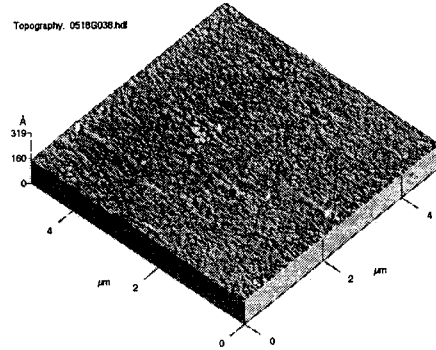


그림 5. 실리콘 질화막 멤브레인의 표면거칠기
Fig. 5 Surface roughness of the silicon-nitride membrane

또한, 질화막 멤브레인의 표면 거칠기를 측정하였다. 그림 5는 멤브레인으로 사용될 실리콘 질화막의 표면 거칠기를 보여주고 있다. 이때 평균 표면 거칠기는 1.6Å이며, 최고 치와 최저 치의 차이는 16Å이다. 그림에서 보듯이 식각 후 최종 완성된 멤브레인의 표면거칠기가 작다는 사실을 알 수 있다. 이로부터 멤브레인 위에 구조체 증착시 표면 거칠기에 의한 영향을 거의 받지 않는다는 사실을 알 수 있다.

IV. PT층 형성(PT layer deposition, PT:PbTiO₃)

초전형 특성을 이용한 적외선센서를 제작하기 위하여 질화막 멤브레인 위에 PT막을 증착하였고, 막의 XRD와 P-E(Polarization - Electric field) Loop 및 유전특성을 조사하였다. 먼저 하부전극 및 PT 증착시 우수한 c-축 방향성을 가질 수 있도록 (111) 방향성이 우수한 Pt막을 ion-beam sputtering을 사용하여 증착하였다.

증착후 XRD로 Pt층의 방향성을 확인하여보니 우수한 (111) 방향성을 보여주고 있음을 알 수 있었다. Pt층의 증착조건을 아래 표1.에 나타내었다.

PT막 증착은 기존의 Sol-Gel법에 의한 방법 중 spin coating법을 사용하여 증착하였다. 4000rpm으로 30초 동안 스핀 코팅한 후, hot plate에서 150℃로 건조시킨 후 300℃의 온도에서 열분해 시켰다. 이 과정을 두 번 반복하여 코팅 한 후 최종적으로 600℃온도 산소 분위기에서 30분간 열처리를 하였다.

그림 6은 PT의 XRD 특성을 보여주고 있는데, 우수한 c-축 방향성을 갖고 있어 polling 분극 없이 초전 특성을 사용할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 그림 7에서는 적외선센서의 감도를 결정하는 중요

표 1. 하부전극 Pt층 증착조건

Table 1. Deposition condition of Pt layer as a bottom electrode

증착 변수	증착 조건
Basal pressure	1.7×10^{-7} Torr
Working pressure	4.1×10^{-9} Torr
Beam voltage	1000V
Beam current	25mA
Cathode voltage	9.2V
Cathode current	4.6A
Target & beam angle	65 °
Target과 기판각도	15 °
Deposition rate	30 Å/min

한 요소인 유전율과 유전 손실을 보여주고 있는데, 둘 다 낮은 값으로 나타나고 있어 우수한 감도를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

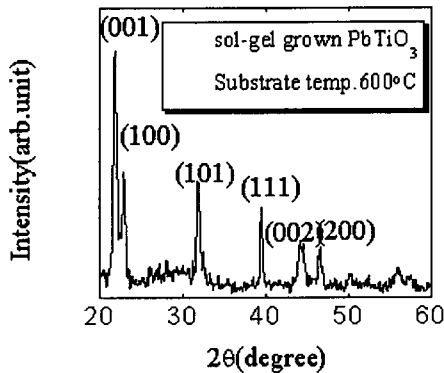


그림 6. PT 층의 XRD 그래프
Fig. 6 XRD graph of PT layer

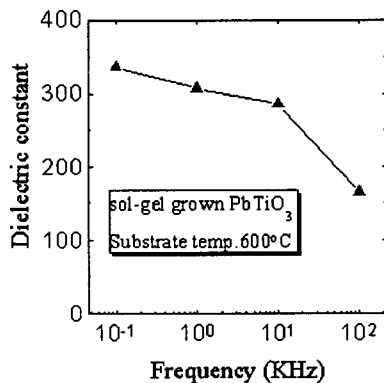


그림 7. PT 층의 유전율과 유전손실 그래프
Fig. 7 Dielectric and dielectric loss of PT layer

V. 결론

본 연구에서는 기판접합/기판식각을 통하여 적외선 센서용 실리콘 구조물을 제작하였으며, 적외선 감지막으로 사용될 PT 층을 제작된 멤브레인 위에 형성하고 그 특성을 측정하였다.

기판접합/기판식각을 통하여 멤브레인을 제작함으로써, 기존 적외선센서 제작시 문제점으로 대두되어온 기판식각 과정에서의 적외선 감지막의 식각으로 인한 손상문제를 해결할 수 있었으며 열적으로 고립시킬 수가 있었다. 그리고 c축 방향성을 갖는 PT막을 형성하여 별도의 분극을 일으키기 위한 polling을 하지 않고서도 열적 분극을 일으킬 수 있으므로 소자의 집적성을 증가 시킬 수 있다. 앞으로 센서의 감도를 높일 수 있도록 초전계수 증가와 유전율을 감소시킬 수 있는 방법을 연구할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부와 산업자원부가 주관하는 초소형 정밀기계 선도기술개발사업의 연구비 지원 및 KIST 기관소유 사업의 일부지원에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] M.Schlessinger, *Infrared Technology Fundamental*, 2nd. Edition
- [2] J.R.Lowney et al., *J.Appl.Phys.* **71**, p.1253 (1992)
- [3] J.P.Rice et al., *SPIE* **2159**, p. 98 (1994)
- [4] D.L.Poola et al., *MRS Bulletin* July 1996, p.59
- [5] H.Kobayashi et al., *J.J.A.P.* **32**, p.L45 (1993)
- [6] Qin-Yi Tong et al., *IEEE J. of MEMS* **3**, March 1994, p.29