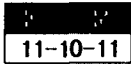


결정의존성 식각/기관접합을 이용한 MEMS용 구조물의 제작



Si Micromachining for MEMS-IR Sensor Application

박홍우*, 주병권*, 박윤권**, 박정호***, 김철주**, 염상섭*, 서상희*, 오명환*
(Heung-Woo Park*, Byeong-Kwon Ju*, Yun-Kwon Park**, Jung-Ho Park***,
Chul-Ju Kim**, S. S. Yom*, Sang-Hee Suh*, Myung-Hwan Oh*)

Abstract

The silicon-nitride membrane structure for IR sensor was fabricated through the etching and the direct bonding. The PTO(PbTiO₃) layer for a IR detection was coated on the membrane and its characteristics were measured. The attack of PTO layer during the etching of silicon wafer as well as the thermal isolation of the IR detection layer were eliminated through the method of bonding/etching of silicon wafer. The surface roughness of the membrane was measured by AFM, the micro voids and the non-contacted area were inspected by the IR detector, and the bonding interface was observed using SEM. The dielectric characteristics of the PTO layer were measured, too.

Key Words(중요용어) : orientation dependent etching, wafer direct bonding, PbTiO₃(PTO) layer, IR sensor, sol-gel

1. 서 론

적외선센서(Infrared(IR)-Sensor)에는 일반적으로 두 가지 타입이 있다. 첫째로 광전도형 또는 광전압형 효과에 의한 전자홀 쌍의 광학적 여기를 이용한 양전자(photon) 검출기가 사용되고 있다(1-2). 양전자 검출기는 한정된 파장의 범위에서 사용된다는 점과 암전류(dark current)에 의한 센서의 감도가 한정되므로 이를 줄이기 위하여 77 K(Kelvin) 아래로 온도를 내려야 한다. 그러므로 냉각기를 설치하는 단

점이 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 강유전체 물질이 멤브레인 형성을 위한 기관식각 또는 희생층 식각시 식각액에 손상을 입는 문제점이 발생되고 있다. 이에따라 식각시 소자를 보호하려는 연구가 광범위하게 연구되고 있으며, 이에 본 연구에서는 실리콘 표면 미세 가공 기술을 이용하여 온도변화에 따른 전기분극 변화를 표면 전하량 변화로 검출하는 초전 특성을 가진 PTO(PbTiO₃) 물질을 검출기로 사용하였고, 위의 문

*: 한국과학기술연구원 정보재료소자연구센터

** : 서울시립대학교 전자공학

*** : 고려대학교 전자공학

(서울시 성북구 하월곡동 39-1 Tel : 873-9690

E-mail : hwp@asri.snu.ac.kr)

1998년 7월 23일 접수, 1998년 9월 29일 심사완료

<98 춘계학술회의에서 우수논문으로 추천됨>

제점을 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, 멤브레인 위에 초전 특성이 우수한 막을 형성할 수 있으며 저항형 적외선 센서 등에의 응용도 가능하다.

2. 실험방법

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

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

기판 1은 접합을 위하여 RCA 세척을 한 후 친수화처리되었으며, 친수화처리 용액으로는 70 $^{\circ}\text{C}$ 질산 용액을 사용하였다[6]. 기판 2 역시 질산 용액으로 표면처리하여 초순수에 린싱한 후 건조되었다. 이렇게 준비된 기판 1과 기판 2는 상온, 상압의 'class 100(1 입방미터 체적내에 존재하는 입자의 수가 100 개 이하임을 나타내는 청정도의 단위)' 환경에서 공동이 형성된 면과 실리콘질화막이 마주보도록 초기 접합 되었으며 1100 $^{\circ}\text{C}$ 에서 4시간 동안의 열처리를 통하여 접합력을 향상시켰다. 접합된 기판쌍에 대하여 KOH 용액으로 기판 2의 실리콘기판 부분을 식각하여 $\text{Si}_3\text{N}_4(0.3 \mu\text{m})/\text{SiO}_2(1 \mu\text{m})/\text{Si}$ 멤브레인 구조체를 제작하였다. 이렇게 제작된 멤브레인 위에 적외선 검출기능을 갖는 소자를 형성하기 위하여 전자선증착기로 Ti 막과 Pt 막을 증착한 후, sol-gel 법으로 PTO 막을 형성하였다.

제작된 멤브레인의 표면거칠기를 AFM(atomic force microscope)을 이용하여 측정하였고 적외선측정기(infrared detector)로 접합경계층에 존재하는 void를 관찰하였으며 push-pull meter로 tensile strength를 측정하였다. 또한, 접합계면을 SEM

(scanning electron microscope)을 이용하여 관찰하였다. PTO 박막의 특성을 알아보기 위하여 분극특성과 유전상수를 알아보았으며, PTO 박막의 결정방위성을 알아보기 위하여 XRD(X-ray diffraction)를 이용하였다.

3. 기판식각/기판접합을 통한 구조체 제작

3-1. 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 식각 또는 희생층을 식각함으로써 검출막의 훼손이 문제가 되어 왔다. 본 연구에서는 검출막 형성 전에 공동을 형성함으로써 이 문제를 해결하고자 하였다. 형성된 공동의 크기는 2 mm \times 2 mm 이고 깊이는 80 μm 이며 식각용액으로는 KOH 수용액을 이용하였다.

3-2. 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 접합경계층의 SEM 사진을 보였다.

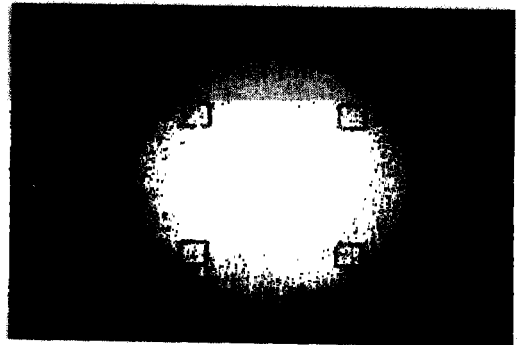


그림 1. 기판 접합쌍의 적외선 사진

Fig. 1. IR photograph of the bonding pair

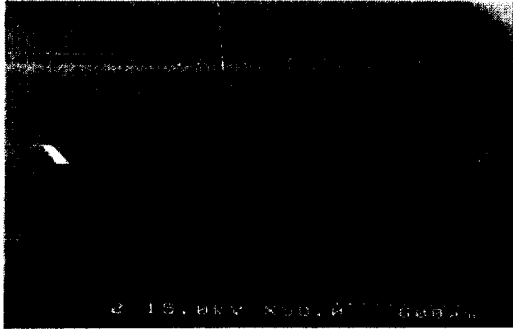


그림 2. 공동형성/직접접합한 구조의 SEM 사진
Fig. 2. SEM micrograph of the cavity formed/
silicon wafer direct bonded structure.

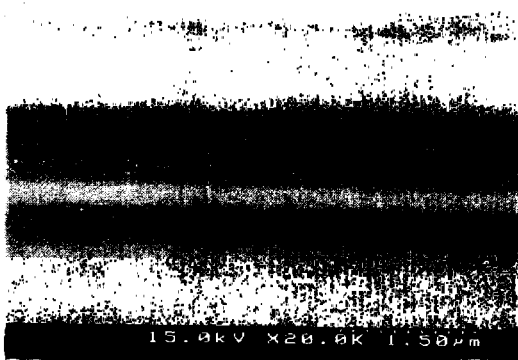


그림 3. 접합경계층의 SEM 사진
Fig. 3. SEM micrograph of the bonding interface



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

제작된 접합기판쌍에 대하여 접합강도를 측정하였다. 측정된 접합강도는 질화막과 열산화막의 접합강도로서 약 $90 \text{ Kg} \cdot \text{중}/\text{cm}^2$ 이다. 이 값은 실리콘기판의 직접접합시 얻어지는 약 $200 \text{ Kg} \cdot \text{중}/\text{cm}^2$ 값보다는 적은 값으로서, 상대적으로 실리콘 질화막과 실리콘 열산화막의 접합강도가 약하다는 사실을 알 수 있다. 그러나, 이 값은 양극접합시 실리콘기판과 유리기판의 접합강도와 비슷한 값으로서 소자용에 충분한 값이다.

그림 4에 보인 분리된 접합쌍의 사진으로부터 접합경계면이 시변이 가능하며 기판오 가리져리 분리가 일어날 정도로 접합강도가 큰 것을 알 수 있다.

3-3. 멤브레인 제작

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

평균 표면 거칠기는 1.6 \AA 이며, 최고치와 최저치의 차이는 16 \AA 이다. 실리콘 산화막의 표면거칠기가 작으므로, 멤브레인 위에 적외선 검출막 형성시 표면 거칠기에 의한 영향을 거의 받지 않는다는 사실을 알 수 있다.

4. PTO층 형성(PTO layer deposition, PTO: PbTiO_3)

초전형 특성을 이용한 적외선센서를 제작하기 위하여 질화막 멤브레인 위에 PTO막을 졸겔 방법으로 코팅하였고, 막의 XRD와 유전특성을 조사하였다. 먼저 하부전극 및 PTO 코팅시 우수한 c-축 방향성을 가질 수 있도록 (111) 방향성의 Pt막을 ion-beam sputtering을 사용하여 증착하였다. Pt층의 증착조건을 아래 표1.에 나타내었다. 증착후 XRD로 Pt층의 방향성을 확인하여보니 우수한 (111) 방향성을 보여 주고 있음을 알 수 있었다.

PTO막 코팅을 위한 졸의 준비과정은 아래와 같다. $\text{Ti}[\text{OCH}(\text{CH}_3)_2]_4$ (Titanium(IV) isopropoxide, Aldrich Co. USA)를 2-MOE(2-Methoxyethanol, Aldrich Co. USA)에 넣고 초음파 세척기를 이용하여 용해시키고 용액의 균일성을 향상시켰다. Sol의 안정성을 향상시키기 위해 착제인 Acetylacetone(2,4-Pentanedione, Aldrich Co. USA)을 첨

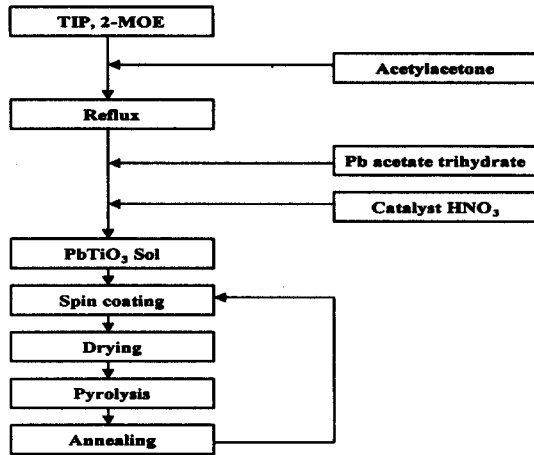


그림 5. PTO(PbTiO₃) 졸의 준비과정
 Fig. 5. Preparation of the PTO(PbTiO₃) sol

표 1. 하부전극 Pt층 증착조건
 Table 1. Deposition condition of the 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	1000 V
Beam current	25 mA
Cathode voltage	9.2 V
Cathode current	4.6 A
Target & beam angle	65 °
Target angle	15 °
Deposition rate	30 Å/min

가하였다. 용액의 혼합과 반응을 충분히 해주기 위하여 90℃에서 2시간 동안 refluxing 하였다. 용액을 60℃까지 냉각한 후 탈수 과정 없이 Pb(CH₃CO₂)₂·3H₂O(Lead II acetate trihydrate, Aldrich Co. USA)를 소량씩 첨가하여 충분히 용해시킨 후 촉매로써 질산을 첨가하였다. 24시간동안 교반하여 0.4M의 투명하고 안정한 PbTiO₃ 졸을 제조하였다.

Sol-Gel법에 의한 PbTiO₃박막은 4000rpm으로 30초 동안 스핀 코팅을 한 후 hot plate에서 150℃로 건조시키고 300℃ 온도와 산소 분위기에서 열분해를 시켰다. 같은 방법으로 두 번째 코팅을 한 후 최종적으로 550℃ 산소분위기에서 30분간 페로브스카이트 구조를 이루기 위해 열처리를 하였다. 이때, 막 두께는 1000Å이었다. 이상의 과정을 그림 5에 나타내었다.

그림 6은 PTO 막의 XRD 특성을 보여주고 있는데, c-축 방향성이 우수하지 않은 관계로 측정시 polling이 필요함을 알 수 있다. Polling을 하지 않고도 높은 감도를 얻기 위해서는 c-축 방향성을 높여야 한다. 또한, 그림 7에서는 적외선센서의 감도를 결정하는 중요한 요소인 유전율을 보여주고 있는데, 낮은 값으로 나타나고 있어 우수한 감도를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

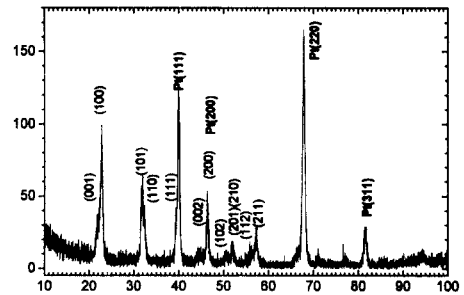


그림 6. PTO 층의 XRD 패턴
 Fig. 6. XRD pattern of the PTO layer

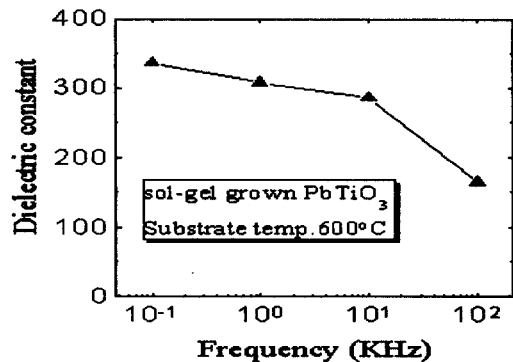


그림 7. PTO 층의 유전율과 유전손실
 Fig. 7. Dielectric constant of the PTO layer

5. 결 론

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

기판접합/기판식각을 통하여 멤브레인을 제작함으로써, 기존 적외선 센서 제작시 문제점으로 대두되었던 기판식각 또는 희생층 식각과정에서의 적외선 감지막으로 사용되는 강유전체 물질이 식각으로 인한 손상문제를 해결할 수 있었으며, 열적으로 고립시킬 수가 있었다. 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 기관고유 사업의 일부지원에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. M.Schlessinger, *Infrared Technology Fundamental*, 2nd. Edition, pp. 87-90
2. P. C. Shan, Z. Celik-Butler, D. P. Butler, "The investigation of semiconducting YBaCuO thin films", *J. of Applied Physics*, vol. 80, no. 12, pp. 7118-7123, 1995
3. R. A. Wood, "uncooled thermal imaging with monolithic silicon focal plane", *SPIE*, vol. 2020, pp.322-329, 1994
4. R. T. Howe, "Surface micromachining for microsensors and microactuators", *J. Vac. Sci. Technol.*, vol. B6, no 6., pp.1809-1813, 1988
5. H.Kobayashi et al., "Study of Si etching rate in various composition of SCI solution", *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 32, pp. L45, 1993
6. M. A. Huff, A. D. Nikolic, "Design of sealed cavity microstructures formed by Silicon Wafer Bonding", *IEEE J. of MEMS*, vol. 2, no. 2, pp. 74, 1993