

## Development of a MEMS Structure for an Infrared Focal Plane Array

曹星穆<sup>†</sup> · 梁佑碩<sup>\*</sup> · 柳浩駿<sup>\*</sup> · 田尚勳<sup>\*</sup> · 兪炳坤<sup>\*\*</sup> · 崔昌億<sup>\*\*</sup>

(Seong M. Cho · Woo Seok Yang · Ho Jun Ryu · Sang Hoon Cheon · Byoung-Gon Yu · Chang Auck Choi)

**Abstract** - A micromachined sensor part for an infrared focal plane array has been designed and fabricated. Amorphous silicon was adapted as a sensing material, and silicon nitride was used as a membrane material. To get a good efficiency of infrared absorption, the sensor was made as a  $\lambda/4$  cavity structure. All the processes were done in 0.5  $\mu\text{m}$  iMEMS fab. in the Electronics and Telecommunication Research Institute (ETRI). The processed MEMS sensor structure had a small membrane deflection less than 0.3  $\mu\text{m}$ . This excellent deflection property can be attributed to the rigorous balancing of the stresses of individual layers. The efficiency of infrared absorption was more than 75% in the wavelength range 8 - 14  $\mu\text{m}$ .

**Key Words** : Infrared, Sensor, MEMS

### 1. 서 론

최근 보안에 대한 관심이 증가함에 따라 적외선 영상 센서에 대한 요구가 증가하고 있다. 특히 적외선 영상 센서의 대중적인 보급을 위해 소형화, 저가격화 등의 매력을 지닌 비냉각형 제품에 대한 요구가 커지고 있는데, 최근의 MEMS 기술의 비약적인 발전은 이러한 기술 요구에 점차적으로 부응해 나가고 있다.

비냉각형 적외선 센서의 경우 초전형과 bolometer 형이 대표적인 형태이다. 초전형의 경우 이론적으로 가장 우수한 성능을 낼 수 있는 것으로 알려져 있으나, 초퍼의 사용 등으로 인하여 소형화 및 저전력화에 어려움이 있다. 따라서, 최근의 연구는 저전력화와 휴대용에 유리한 bolometer 형에 집중되고 있다. Bolometer 형 비냉각 적외선 센서의 경우 지금까지  $\text{VO}_x$  계의 감응재료를 이용한 센서가 주류를 이루었으나 [1], 최근에는 amorphous Si (a-Si) 을 적용한 기술이 등장하여 경쟁을 이루고 있다[2]. a-Si의 경우 얇은 측면에서  $\text{VO}_x$  에 비해 다소 불리하나, 공정이 쉽고 균일도나 재현성 등의 측면에서 매력이 있어 양산성이 유리하다는 장점이 있다.

본 연구에서는 a-Si을 감응재료로 하는 bolometer 형 비냉각형 적외선 영상 센서를 위한 센서 구조체 개발을 진행하였다. 향후의 판독회로 일체형 영상 센서 개발을 염두에 두고 공정 호환성에 문제가 없도록 센서 구조체를 설계하고 공정을 개발하였다.

<sup>†</sup> 교신저자, 正 會 員 : 한국전자통신연구원 선임연구원  
E-mail : smcho@etri.re.kr

<sup>\*</sup> 非 會 員 : 한국전자통신연구원 선임연구원

<sup>\*\*</sup> 非 會 員 : 한국전자통신연구원 책임연구원

接受日字 : 2007年 6月 12日

最終完了 : 2007年 7月 11日

### 2. 센서 구조체 설계

Fig. 1은 적외선 이미지 센서의 동작 개념도이다. 피사체에서 나오는 적외선은 렌즈에 의해 focusing 되어 focal plane 에 이미지를 형성하게 된다. 이 focal plane에 형성된 적외선 이미지를 어레이 센서 (FPA; Focal Plane Array) 를 이용하여 인지하게 된다. FPA 에서 감지된 신호는 판독회로에 의해 전기신호로 변환/증폭되어 출력된다. FPA는 적외선 영상 센서에 있어서 핵심적인 역할을 하는 부품에 해당한다.

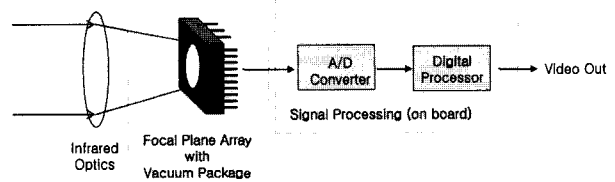


그림 1 적외선 이미지 센서의 시스템 구성 및 동작을 보여주는 개념도

Fig. 1. Schematic diagram showing the operation of infrared image sensor

Fig. 2는 본 연구에서 설계된 센서 구조체의 단면 모양을 보여주고 있다. 적외선 감지층으로는 a-Si을 적용하였으며, 상하부 membrane으로는 silicon nitride를 사용하였다. 8 - 14  $\mu\text{m}$  파장대역의 적외선에 대한 효율적인 흡수를 위해  $\lambda/4$  cavity 형태의 흡수 구조를 적용하였다. Cavity 구조에서 하부 reflector metal로는 Al 3,000 Å을 사용하였으며, membrane 과의 gap은 2  $\mu\text{m}$ 로 설계하였다. 금속 흡수층의 두께는 최적의 흡수 효율을 나타낼 수 있도록 면저항 377  $\Omega$

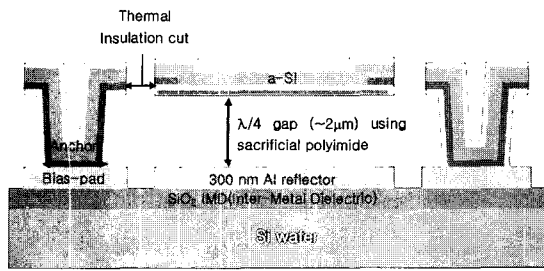


그림 2 설계된 단위 센서 픽셀의 수직 구조  
Fig. 2. Schematic diagram showing the vertical structure of the unit pixel.

에 맞추어 설계하였다[3]. Post CMOS micromachining 공정을 통한 반도체 IC와의 일체화를 고려하여 MEMS 구조체 형성을 위한 희생층으로는 400 °C 이하의 저온 공정이 가능한 polyimide (PI2545, HD-Microsystems co., USA) 를 사용하였다.

센서의 단위 픽셀의 피치 (pitch) 는 50 μm 이었으며, 센서의 fill factor는 77 % 이었다. 열절연 역할을 하는 leg의 폭은 2 μm 이었으며, 설계된 전도도(thermal conductance) 는  $\sim 1.5 \times 10^{-7}$  W/K 이었다.

3. 센서 구조체 공정

Fig. 3은 센서구조체의 제조 공정을 보여주고 있다. 금속 배선이 된 실리콘 웨이퍼에 reflector로 사용되는 Al 금속을 증착하고 reflector를 형성하였다. 이후 희생층으로 사용되는

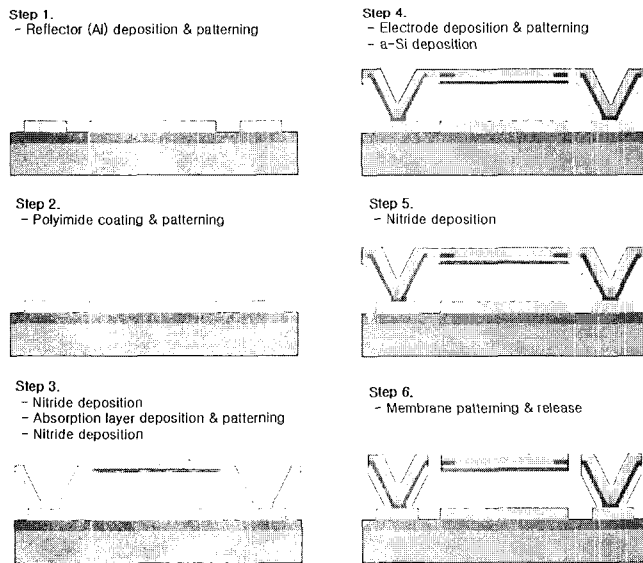


그림 3 적외선 센서 구조체의 제조 공정  
Fig. 3. Schematic diagram showing the process flow of the micromachined sensor part of IR FPA.

polyimide를 2 μm 두께로 coating하고 건식 식각 공정을 이용하여 anchor 패턴을 형성하였다. Anchor 형성 후 membrane 역할을 하는 silicon nitride를 PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 공정을 이용하여 증착하였다. 이후 흡수층으로 사용되는 금속을 sputtering 공정을 이용하여 증착하고 패터닝하였다. 흡수층 공정후 흡수층과 센서 재료와의 층간 절연막 역할을 하는 silicon nitride를 증착하였다. 이후 전극 역할을 하는 Ni-Cr을 sputtering 공정을 이용하여 증착하고, 패터닝 하였다. Ni-Cr 전극의 패터닝은 over-etching에 따른 하부 nitride의 손상을 최소화 하기 위하여 건식 식각과 습식 식각을 혼합한 혼합 etching 공정을 이용하여 진행하였다. 전극 형성후 감지 재료의 역할을 하는 a-Si을 PECVD 공정을 이용하여 증착하였다. Amorphous Si 증착후 상부 보호층의 역할을 하는 silicon nitride를 PECVD 공정을 이용하여 증착하였다. 보호층 silicon nitride 증착후 건식 식각 공정을 이용하여 membrane을 패터닝 하였다. 이때 식각된 영역은 후속 희생층 식각시에 식각 물질의 이동 통로가 된다. 희생층 식각은 O2 plasma를 이용한 건식 식각 공정을 이용하여 진행하였다.

적외선 센서의 우수한 열적 절연 상태를 얻기 위해서는 미세 패터닝이 필수적으로 요구되며, 1 μm 이하의 미세 선폭과 0.2 μm 미만의 우수한 overlay 가 필요하다. 이러한 요구를 만족시키기 위해서 모든 패터닝 공정은 lift-off가 아닌

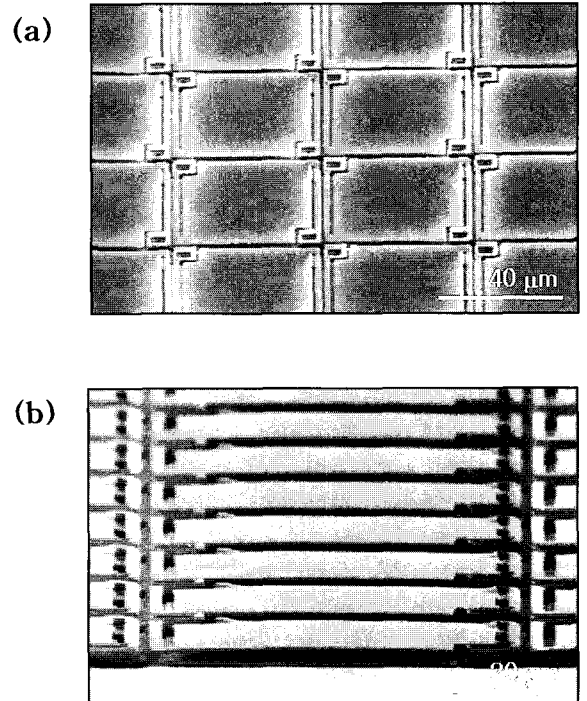


그림 4 제조된 센서 어레이의 SEM 사진 ; (a) 45° 경사 관찰, (b) 80° 경사 관찰. 픽셀 피치는 50 μm이며 열절연 역할을 하는 leg의 폭은 2 μm이다.  
Fig. 4. SEM micrographs of the processed pixel array ; (a) 45o tilt view, (b) 80o tilt view. The pixel pitch is 50 μm, and the width of the isolation leg is 2 μm.

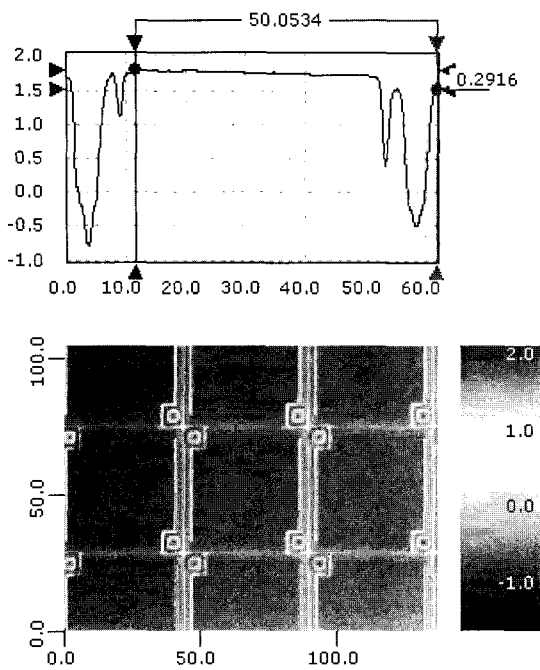


그림 5 3D optical profiler로 측정한 센서 구조체 membrane의 휨 특성  
 Fig. 5. Membrane deflection of the unit pixel measured by 3D optical profiler

etching 방식을 선택하였다. Lift-off 공정은 패터닝시 하부 막질의 손상을 피할 수 있다는 장점은 있으나, 미세 패턴의 형성이 어렵고 양산성이 떨어진다는 단점을 가진다. 전체적으로 센서 구조체 용으로 6 layer의 마스크를 사용하였으며 하부의 금속 배선을 위하여 2개의 마스크가 추가로 사용되었다. 모든 MEMS 구조체 공정은 0.5  $\mu\text{m}$ 의 design rule을 가지는 한국전자통신연구원 (ETRI) iMEMS Fab.에서 진행되었다.

Fig. 4는 본 공정을 통해 제조된 센서 픽셀의 모양을 보여주고 있다. Fig. 4의 (a)는 45° tilt view 이며, (b)는 80° tilt view 이다. 전체적으로 membrane의 뒤틀림이 성공적으로 센서 구조체를 제조할 수 있었다.

#### 4. 특성 분석

##### 4.1 Membrane deflection

Fig. 5는 3D optical profiler를 이용하여 측정한 센서 membrane의 뒤틀림 특성을 보여주고 있다. 전체적으로 membrane 자체에는 거의 뒤틀림이 관찰되지 않았으며, leg 영역까지 포함하더라도 총 뒤틀림은 0.3  $\mu\text{m}$  미만이었다. Membrane의 deflection에는 개별구성 박막들의 응력의 평균값과 두께 방향의 응력의 gradient가 영향을 미친다[4]. 정밀한 공정 최적화를 통해 적층 박막들의 응력을 최소화 하였으며, 상하부 layer의 응력 gradient에 의한 뒤틀림을 방지하기 위하여 membrane의 적층 구조를 대칭적으로 설계하였다

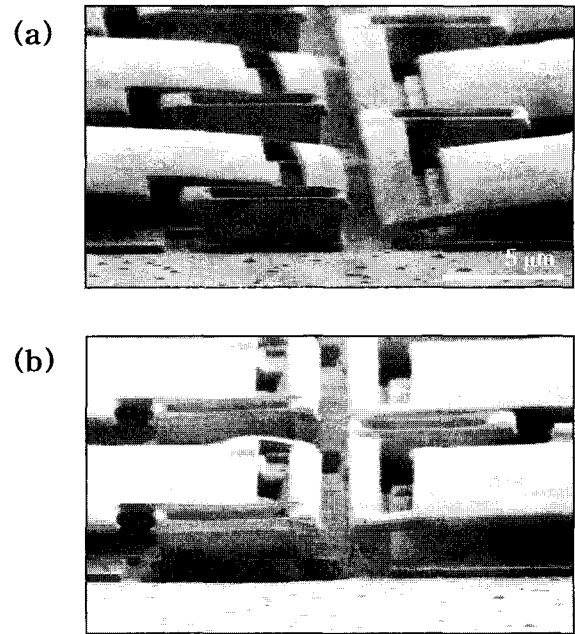


그림 6 단위 센서 픽셀의 휨 특성을 보여주는 SEM 사진 ; (a) 비대칭적 membrane 적층구조를 가지는 픽셀 (b) 대칭적 membrane 적층 구조를 가지는 픽셀  
 Fig. 6. SEM micrographs showing the membrane deflection of the unit pixels; (a) pixels with asymmetric membrane, (b) pixels with symmetric membrane.

[5]. Membrane의 상하부 보호막으로 사용된 silicon nitride 박막의 경우 자체 응력은 wafer deflection 방법으로 측정된 결과 tensile 153 MPa 이었으며, 감응 재료로 사용된 a-Si 박막의 응력은 tensile 42 MPa 이었다.

Fig. 6은 stress balancing 차이에 따른 membrane의 뒤틀림 특성의 변화를 보여주고 있다. Fig. 6의 (a)의 경우는 하부 nitride의 두께가 상부 nitride에 비해 두꺼워 stress gradient에 의해 뒤틀림이 발생한 모양이다. 이러한 뒤틀림은 센서 공정의 재현성을 떨어뜨려 pixel 수율 저하의 원인이 될 수 있다. Fig. 6의 (b)는 상하부 nitride의 두께가 동일하게 제어되어 뒤틀림이 없는 양호한 구조이다.

Fig. 7은 최종적으로 응력의 분포가 제어된 상태에서의 membrane의 두께방향의 응력분포를 보여주고 있다. 개별 박막들의 특성상 전체적인 응력의 분포는 약간의 tensile 응력을 가지도록 설계되었으나, 응력의 gradient는 대칭적으로 분포되도록 설계되었다.

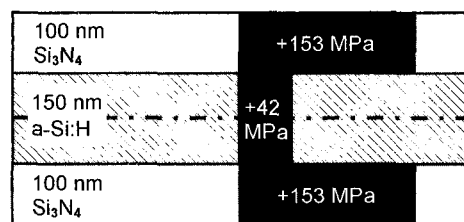


그림 7 최종적으로 설계된 membrane의 layer 적층 및 응력 분포 상태  
 Fig. 7. Schematic diagram showing the stress status of stacked layers

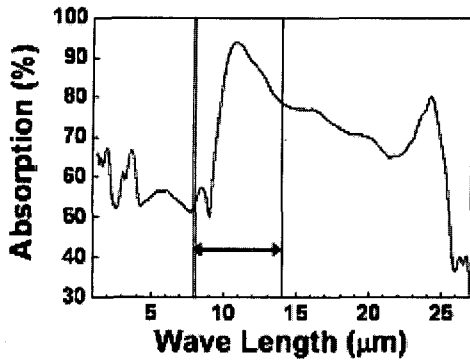


그림 8 제조된 센서 어레이의 적외선 흡수특성. 8-14 μm 파장대역에서 75% 이상의 입사 적외선이 센서의 cavity 구조에 의해 흡수된다.

Fig. 8. Infrared absorption of the processed pixel array. More than 75% of incident light was absorbed by the cavity structure in the wavelength range of 8-14 μm.

#### 4.2 적외선 흡수 특성

Fig. 8은 제조된 센서 구조체의 적외선 흡수 특성을 보여 주고 있다. 적외선 흡수특성은 적외선 분광기 (IFS-66, Bruker co., USA) 를 이용하여 85° 의 입사각도로 반사율을 측정하여 환산되었다. 비냉각형 적외선 센서로서 관심있는 파장대역인 8 - 14 μm 대역에서 75 % 이상의 높은 적외선 흡수 효율을 보여주고 있다. 낮은 8 - 9 μm 대역에서는 다소 흡수율이 낮으나 10 μm 이상의 장파장 대역에서는 80 % 이상의 높은 흡수율을 나타낸다. 10 μm 이상의 대역에서 나타나는 높은 흡수 효율은 membrane으로 사용된 silicon nitride 의 phonon band에 기인하는 것으로 해석된다. Silicon nitride 는 이 파장대역에서 phonon band를 가지고 있어 매우 높은 n, k 값을 가진다[6].

8 - 9 μm 대역에서의 상대적으로 낮은 흡수 효율은 향후 흡수층의 저항과 gap의 조절 등의 방법을 통해 개선 될 수 있을 것으로 보인다.

#### 5. 결 론

a-Si을 감응재료로 하는 bolometer 형 비냉각형 적외선 영상 센서를 위한 센서 구조체 개발을 진행하였다. Polyimide 를 희생층으로 하여 성공적으로 구조체를 제작할 수 있었으며, 제조된 센서 구조체는 우수한 뒤틀림 및 적외선 흡수특성을 보였다. 본 센서 구조체는 post CMOS micromachining 공정으로 판독회로 일체형 적외선 영상 센서에 직접 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2006-S054-01, 유비쿼터스용 CMOS 기반 MEMS 복합센서기술]

#### 참 고 문 헌

- [1] D. Murphy et al, "Expanded applications for high performance VOx microbolometer FPAs," in Proceedings of SPIE Vol.5783, pp.448-459, 2005.
- [2] J. J. Yon et al, "First demonstration of 25um pitch uncooled amorphous silicon microbolometer IRFPA at LETI-LIR," in Proceedings of SPIE Vol.5783, pp. 432-440, 2005.
- [3] K. C. Liddard, "Applicaton of interferometric enhancement to self-absorbing thin film thermal IR detectors," Infrared Phys., Vol. 34, No. 4, pp.379-387, 1993.
- [4] W. Fang and J. A. Wickert, "Determining mean and gradient residual stresses in thin films using micro-machined cantilevers," J. Micromech. Microeng., Vol. 6, pp.301-309, 1996.
- [5] W. S. Yang et al, "Deformation reduction of MEMS infrared sensor by stress balancing of multilayer," submitted to J. Micromech. Microeng.
- [6] M. Klanjsek Gunde and M. Macek, "Infrared optical constants and dielectric response functions of silicon nitride and oxynitride films," Phys. Stat. Sol. (a), Vol. 183, No. 2, pp.439-449, 2001.

저 자 소 개



**조 성 목(曹 星 穆)**

포항공과대학교 신소재공학과 학사(1992), 석사(1994), 박사(2001). 1996-1998 삼성 전자 반도체연구소 연구원. 2001년-현재 한국전자통신연구원 선임연구원.

Tel : 042-860-6237

E-mail : smcho@etri.re.kr



**전 상 훈(田 尙 勳)**

한국과학기술원 전기및전자공학과 학사(1993), 석사(1995), 박사(2001). 2001-2006 (주)나리지\*은 파운드리서비스 사업본부 책임연구원. 2006-1현재 한국전자통신 연구원 선임연구원.

Tel : 042-860-1651

E-mail : sanghoon.cheon@etri.re.kr



**양 우 석(楊 宇 錫)**

포항공과대학교 신소재공학과 학사(1991), 석사(1993), 박사(1998). 1998-2001 Hynix 반도체연구소 선임연구원. 2001년-현재 한국전자통신연구원 선임연구원.

Tel : 042-860-1675

E-mail : wsyang68@etri.re.kr



**유 병 곤(兪 炳 坤)**

경북대학교 자연과학대학 물리학 학사(1984), 동경공업대학(TIT) 원자핵물리학 석사(1987), 박사(1990), 1990-1991 일본 HITACHI 중앙연구소 연구원, 1991-현재 한국전자통신연구원 책임연구원

Tel : 042-860-5549

E-mail : bgyu@etri.re.kr



**류 호 준(柳 浩 駿)**

서울대학교 재료공학부 학사(1990), 석사(1993), 박사(1998). 1999-2001 The Univ. of Texas at Austin Postdoc. 2001년-현재 한국전자통신연구원 선임연구원.

Tel : 042-860-1614

E-mail : hjryu@etri.re.kr



**최 창 익(崔 昌 億)**

경북대학교 전자공학과 학사, 석사(1988), 박사(1999). 1980-현재 한국전자통신연구원 책임연구원.

Tel : 042-860-5725

E-mail : cachoi@etri.re.kr