

차량 내 탑승자 상태 인식용 적외선 센서의 제조 및 특성

Fabrications and Characteristics of Infrared Sensor for Passenger Conditional Detection in Vehicle

이성현^{1,2,a}, 남태운¹
(Sung-Hyun Lee^{1,2,a} and Tae-Woon Nam¹)

Abstract

A noble infrared sensor was studied for passenger conditional detection in vehicle. This research relates to uncooled infrared sensors for detecting the presence, type and temperature of occupants in vehicle. It sense that the occupants purpose to control the smart airbag for safety in the case of adult or child and to control the automatic air conditioning for convenience. This paper described the design and the fabrication of microbolometers which were composed of 2 by 8 elements using the surface micromachining technology. The characteristics of the array were investigated in the spectral region of 8~12 μm . The fabricated detectors exhibited the thermal mass of 7.05×10^{-9} J/K, the thermal conductance of 1.03×10^{-6} W/K, the thermal time constant of 6.8 ms, the responsivity of 2.96×10^4 V/W and the detectivity of 1.01×10^9 $\text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$, at the chopper frequency of 10 Hz and the bias current of 4.4 μA . We could successfully detect the human body condition in the divided zone. As a results, we concluded that microbolometer optimized in this research could be useful for the application of passenger conditional detection in vehicle.

Key Words : Passenger conditional detection, Vehicle, Micromachining, Microbolometer, Array

1. 서론

최근 자동차의 전장부품 적용이 급격하게 늘어 가고 있으며, 이에 따라서 각종 안전 및 편의사양에 필요한 센서의 수요가 급증하고 있다. 자동차의 지능화추세에 따라서 자동차 외부의 위험요소를 감지하고 대처하는 영역과 운전자 및 탑승자의 상태, 내부 공기질 등의 환경을 감지하는 영역까지 확대되어 가고 있다. 운전자 및 탑승자의 탑승유무에 따라서 에어백과 에어컨디셔너 작동 등에 따른 에너지절감, 안전벨트의 착용 및 쾌적한 실내 환경을 위한 감성적 기능이 요구되고 있어, 이를 만족

하는 센서 및 센서시스템 개발이 시급하다[1].

또한 탑승자의 성인, 유아 상태에 따라서 에어백을 연동하여 2단 제어하는 스마트 에어백의 적용이 늘고 있으며 실내 공기의 온도가 아닌 각 좌석에 탑승된 인체의 체열을 직접 측정하여 별도의 공조를 하는 센서의 상용화가 진행 중이다. 이러한 조건을 만족시킬 수 있는 적외선 센서로 비 냉각 방식의 마이크로 볼로미터 어레이 센서는 마이크로머시닝 기술발전에 따라서 저전력, 소형화 및 집적회로에 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다[2,3].

적외선 센서에 대한 연구는 국내에서도 최근 활발하게 진행되고 있으며, 이에 따른 적외선 소자의 열적 고립구조와 소자구조의 안정성에 대한 공정 기술개발 및 응용에 대한 연구를 중점적으로 하고 있다[4-7].

따라서 본 연구는 자동차 내에 탑승자 상태를 인식하기 위한 적외선 센서로 마이크로 볼로미터의 설계, 제작 및 소자의 성능평가와 각 어레이된

1. 한양대학교 금속재료공학과
(경기도 안산시 상록구 사3동 1271)
2. 에스엘주식회사 선행연구개발본부
a. Corresponding Author : rsp9698@empal.com
접수일자 : 2008. 12. 29
1차 심사 : 2009. 2. 6
심사완료 : 2009. 2. 16

셀이 공간구조에서 운전자 및 탑승자의 각 분할된 영역에서의 인체상태를 감지하는 평가를 수행하였다.

2. 실험

2.1 볼로미터 설계 및 해석

저항형 볼로미터는 Pillar 타입으로 웨이퍼 상에서 수직으로 띄우는 브리지구조로 설계하였으며, 이 때 볼로미터의 크기는 $70 \times 70 \mu\text{m}^2$ 로 하였다. 적외선 감지물질로는 바나듐 텅스텐 옥사이드로 설계하였으며, 운전자석과 조수석 및 성인, 유아를 각각 구분하여 감지할 수 있는 2×8 어레이 배열로 설계하였다.

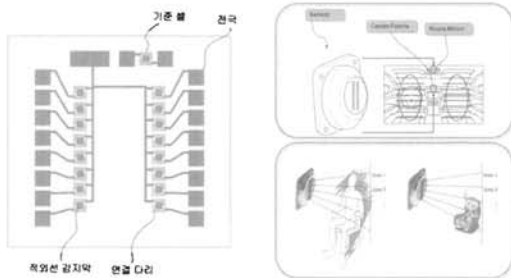


그림 1. 볼로미터 어레이 설계.
Fig. 1. Bolometer array design.

볼로미터 구조의 열교립 구조 특성상 상부에 띄우는 브리지구조로 설계되어있기 때문에 구조의 물리적 안정성에 대한 부분을 고려하여 유한요소법(Finite Element Method)으로 자체 하중에 의한 비틀림 또는 변형에 대한 시뮬레이션을 진행하였다. 볼로미터의 지지다리는 $4 \mu\text{m}$ 의 폭으로 하였고, 전극패턴은 $2 \mu\text{m}$ 의 폭으로 설계하였으며, 볼로미터 감지층의 크기는 $48 \mu\text{m}$ 로 설계하였다. 이 때 시뮬레이션을 위한 각 재료상수로 탄성계수, 포아송비 및 밀도를 이용하였다[8].

표 1. 볼로미터 재료상수.

Table 1. Material constants of bolometer.

Parameters	SiN _x	Cr	Au
Young's Modulus (Pa)	247	248	77
Poisson's ratio	0.25	-	0.42
Density (kg/m ³)	3100	7190	19320
Specific heat (J/K kg)	1450	129	448
Leg length (μm)	98	98	98
Leg width (μm)	4	2	2
Leg thick. (μm)	0.5	0.05	0.05

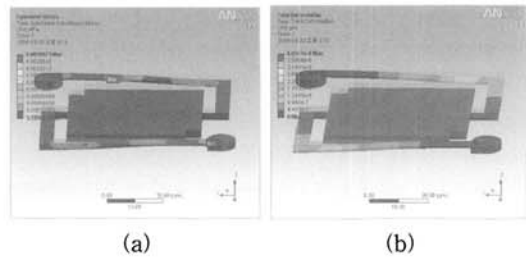


그림 2. 유한요소법 시뮬레이션.

(a) 등가응력 (b) 처짐

Fig. 2. Simulation of finite element method.

(a) Equivalent stress (b) Sag

자중에 의한 최대 등가응력은 지지대로부터 $25 \mu\text{m}$ 떨어진 지점에서 2.99 kPa 로 나타났으며, 이 때 자중에 의하여 걸리는 최대 처짐은 0.004 nm 로 무시할 수 있을 정도의 변형량으로 매우 안정적인 구조를 갖고 있는 것으로 해석되었다.

설계된 단위 셀 볼로미터의 열용량(C)과 열전도도(G) 및 열시정수(τ)는 다음과 같은 공식으로 산출하였다[9].

$$C = \rho c V = \rho c w l (J / K) \quad (1)$$

$$G = \kappa \frac{w d}{l} (W / K) \quad (2)$$

$$\tau = \frac{C}{G} (\text{sec}) \quad (3)$$

여기서 ρ 는 밀도, c 는 비열, κ 는 열전도도, V 는 센서 층의 부피, $w d / l$ 은 지지대 치수를 나타낸다. 상기와 같은 식으로 표 1의 값을 대입하여 계산하면, 열용량은 $7.05 \times 10^{-9} \text{ J/K}$, 열전도도는 $1.03 \times 10^{-6} \text{ W/K}$, 열시정수는 6.8 ms 를 얻을 수 있었다.

2.2 볼로미터 제작

볼로미터는 마이크로머시닝 기술을 이용하여 6인치 웨이퍼에서 제작되었다. 메탈전극제작을 위하여 e-beam evaporator로 Au/Cr 1000 Å/500 Å의 두께로 증착한 후 lift-off 방식으로 패턴을 형성하였으며, PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 장비로 SiN_x 2000 Å을 절연막으로 형성하였다.

하부 반사판 형성을 위하여 Au/Cr 2000 Å/500 Å을 e-beam evaporator로 증착하였다. 열교립구

조를 만들기 위하여 희생층으로 사용된 폴리이미드 PI2610을 코팅 후 soft baking을 hot plate에서 95 °C, 115 °C에서 각각 1분씩 수행하였고, hard baking을 오븐에서 150 °C부터 4 °C/min의 속도로 승온하여 300 °C에서 30분간 유지하였고, 상온으로 냉각시키는 방법으로 curing을 진행하였다. Pillar 타입의 수직 브리지구조이기 때문에 RIE(Reactive Ion Etcher) 장비를 이용하여 전극 홀 및 희생층을 수직으로 식각하였다.

폴리이미드 위에 PECVD 장비로 SiN_x 3000 Å을 절연막으로 형성하였고, e-beam evaporator 장비로 지지다리를 Au/Cr 500 Å/500 Å으로 증착한 후 lift-off 하였다. 지지다리와 전극의 연결을 위하여 Au/Cr 3000 Å/500 Å을 RF magnetron sputter 장비로 증착한 후 lift-off 하였다.

적외선 감지물질은 바나듐 텅스텐 합금 타겟을 적용하여 RF magnetron sputter 장비로 200 Å의 두께로 비정질막을 형성한 후 별도 제작된 산화 열처리로를 이용하여 350 °C에서 각각 60, 75, 90 분 동안 산화열처리를 진행하였다.

산화열처리 후 SiN_x 절연막 3000 Å 증착 및 패터닝 후 O₂ microwave plasma asher로 폴리이미드 희생층을 제거하여 적외선 센서를 제조하였다.

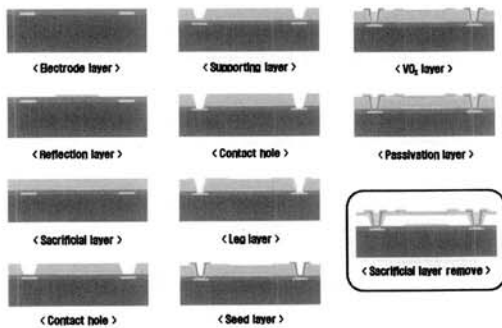


그림 3. 볼로미터 제조공정.
Fig. 3. Bolometer manufacturing process.

2.3 볼로미터 평가

볼로미터의 특성 평가 시 감지층의 특성에 따라 적외선 특성에 영향을 미치므로, 감지층의 산화 열처리에 따른 온도저항계수 TCR(Temperature Coefficient of Resistance)에 대한 분석을 실시하였다. 산화열처리 샘플은 15 x 15 mm 크기의 단소자로 전극과 감지층만을 구성하여 제작하였으며, 산화열처리 조건은 각각 350 °C, 산소분압 200 Torr

에서 각각 60, 75, 90분 동안 열처리하였으며, FLUKE사의 데이터 수집장치 NetDAQ 2640A를 이용하여 항온항습챔버 내에 측정샘플을 넣고 20 °C~60 °C구간에서 10 °C 간격으로 각 온도구간에서 온도를 유지 및 승온하면서 각 저항값을 측정 한 후 식 (4)와 같이 온도저항계수 α를 계산하였다.

$$\alpha = \frac{dR}{R_0 dT} \times 100 \quad (4)$$

R₀는 초기 저항값, dR/dT는 온도변화에 따른 저항 변화 값으로 기울기를 나타낸다.

저항형 볼로미터 소자의 측정 시에는 소자의 열 고립과 열요동 배제가 중요하므로, 적외선필터가 장착된 진공패키지를 제작하여 소자의 성능평가를 수행하였다. 진공패키지는 로터리 펌프와 연결되어 1x10⁻³ Torr 이하의 진공도를 유지시켜 대류에 의한 열 손실을 최대한 억제하였다.

볼로미터의 적외선 특성측정은 미국 MIKRON사의 모델 M305 BBS(black body source)를 사용하였으며, BBS의 aperture를 통과해 조사되는 적외선은 초퍼에 의하여 주파수가 변하며, 변화된 주파수에 따라 적외선 센서는 물리적인 양인 저항값이 변하게 된다. 이러한 저항차이로 발생하는 전압 차이를 pre-amplifier를 이용하여 증폭하여, 입사광량에 해당하는 교류신호를 추출하여 증폭된 신호를 lock-in amplifier에서 증폭하여, 이로부터 잡음 전압, 신호전압 등을 측정하였다.

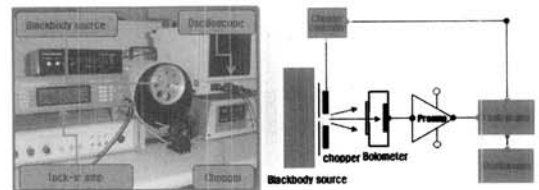


그림 4. 볼로미터 측정 시스템.
Fig. 4. Bolometer measuring system.

볼로미터의 응답특성(R)은 출력전압(V_{out})을 소자에 입사된 입력 복사에너지(P_{in})로 나눈 값으로 정의된다.

$$R = \frac{V_{out}}{P_{in}} (V/W) \quad (5)$$

일반적으로 소자의 면적과 검출회로의 대역폭에 따라서 성능이 영향을 받기 때문에 측정된 값을 표준화하는 기준이 필요하며, 이와 같은 기준으로 감지도는 입사한 적외선을 전기적신호로 변환시켜 주는 정도와 미세한 온도차이를 구분하는가를 나타내는 척도로 표현된다.

$$D' \approx \frac{R\sqrt{A_d\Delta f}}{V_{nRMS}} (cm\sqrt{Hz}/W) \quad (6)$$

여기에서 A_d 는 소자의 적외선 흡수면적을 나타내며, Δf 는 등가잡음밴드폭(Equivalent Noise Band-Width, ENBW)으로 검출회로 내의 적분시간에 반비례하는 값으로 $1/(2T_{int})$ 로 주어지고, V_{nRMS} 는 잡음신호이다. 여기서 T_{int} 는 볼로미터의 신호를 측정하기 위해 바이어스를 가하는 시간으로 정의된다.

2.4 탑승자 감지 평가

자동차 내에 탑승자 상태 인식을 위하여서는 외부회로를 구성하여 노이즈를 고려한 출력전압을 얻어야 정확한 결과를 알 수 있지만, 본 연구에서는 센서소자에 대한 감지특성 평가를 위하여 간단하게 NI(National Instrument) 장비와 Labview 프로그램을 이용하여 아날로그 저항신호 변화에 대한 값을 멀티플렉서를 통하여 순차적으로 감지하여 화면상에 출력하는 것으로 구성하였다.

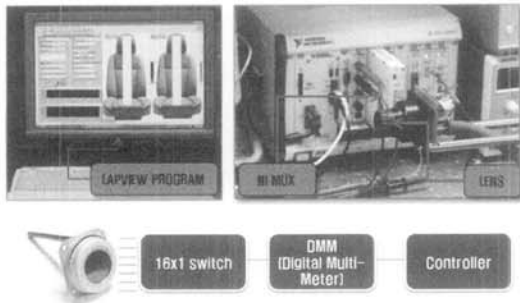


그림 5. 탑승자 감지 측정 시스템.
Fig. 5. Occupants measuring system.

측정은 16개 저항을 읽기 위하여 16 x 1 스위치(NI-PXI2532)를 사용하여 스위칭하였으며, 디지털 멀티미터(NI-PXI4072)를 이용하여 스위칭된 저항값을 측정하여 컨트롤러(NI-PXI9108)에서 분석 및 보정하여 저항변화를 화면에 출력하였다.

측정거리는 1.35 m, 렌즈의 f number는 1의 조건에서 측정하였으며, 각 영역에서 좌우 각각 8등분으로 분할하여, 각 측정 값에서의 출력신호에 대하여 각 셀에서의 출력신호를 1, 2, 3....8과 1', 2', 3'....8' 로 구분하여 각각 운전석과 조수석으로 8등분하였으며, 높이에 따른 출력신호를 구분으로 성인, 유아를 판별하는 것으로 구성하였다.

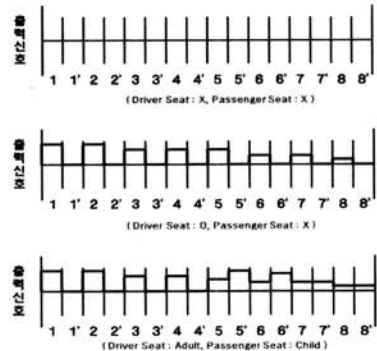


그림 6. 출력신호에 따른 탑승자 감지 개념도.
Fig. 6. The concept of occupants detection with out-put signal.

3. 결과 및 고찰

3.1 볼로미터 제작

산화열처리 전, 후의 감지층의 두께변화를 SEM(Scanning Electron Microscopy)로 측정하였다. 증착된 비정질 바나듐 텅스텐합금은 두께가 200 Å 이었으며, 산화열처리 후의 각 열처리시간에 따라서 감지층 두께의 차이는 거의 없었고, 75분 산화열처리 시에 700 Å의 두께로 3.5배 정도로 산화막이 성장되었음을 확인할 수 있었다.

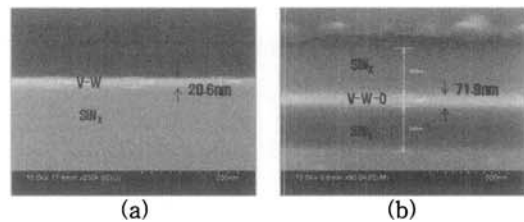


그림 7. 산화열처리에 따른 감지막 두께변화.
(a) 산화열처리 전 (b) 산화열처리 후
Fig. 7. Thickness change of sensing layer with oxidized heat-treatment.
(a) before (b) after

제작된 볼로미터는 회생층 제거 후 제거된 회생층의 두께 및 상부에 띄어진 공간을 분석하기 위하여 SEM 이미지로 확인한 결과 약 2 μm의 높이로 부유된 브리지구조로 형성되어있는 것을 알 수 있었다.

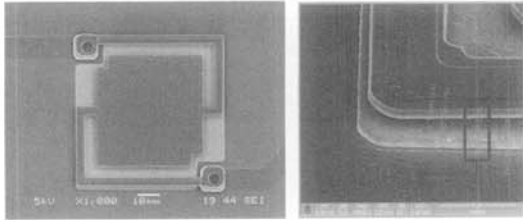


그림 8. 제조된 볼로미터 SEM 이미지.
Fig. 8. SEM image of manufactured bolometer.

3.2 볼로미터 평가

산화열처리에서 열처리시간에 따른 초기 저항값을 비교해 보면 60분 열처리한 경우 5~8 kΩ, 75분 열처리한 경우 50~90 kΩ, 90분 열처리한 경우 140~200 kΩ으로 측정되었으며, 각 온도에 따른 저항값의 변화는 바나듐 텅스텐 옥사이드 감지물질이 온도가 증가함에 따라서 저항이 감소하는 특성을 나타내고 있다.

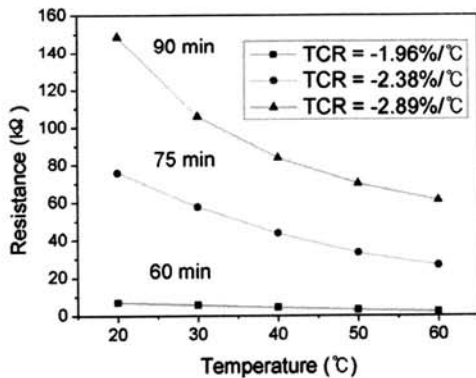


그림 9. 산화열처리 시간에 따른 온도저항계수.
Fig. 9. TCR with oxidized heat-treatment time.

90분 열처리시간에서의 온도저항계수가 가장 큰 -2.89 %/°C의 특성 나타내고 있으며, 75분 열처리 시에는 -2.38 %/°C, 60분 열처리 시에는 -1.96 %/°C로 계산되었으나, 저항이 높을수록 열적 노이즈도 증가하므로 높은 응답도와 신호대 노이즈 비

(Signal-to-noise ratio, SNR)간에 trade-off가 필요하다[10]. 따라서 온도저항계수의 값과 초기저항값을 고려하여 75분 산화열처리한 샘플을 산화열처리 공정조건으로 채택하여 진행하였다.

볼로미터의 특성 측정은 8~12 μm 파장대역의 적외선 필터를 적용하여 진행하였다. 표 2는 각 파장대역에서 응답특성과 감지도를 측정하기 위한 측정 파라미터를 나타낸다.

표 2. 측정 파라미터.

Table 2. Measuring parameters.

Parameters	8~12 μm
BBS temperature (K)	700°
BBS aperture (inch)	0.4
Active area Ad (μm ²)	2304
Distance (cm)	6
The intensity of radiation (W)	3.7x10 ⁻⁸
Output voltage at 10 Hz (mV)	22.8
Noise voltage at 10 Hz (mV)	0.01
ENBW Δf	0.5
Amp gain	25

제작된 볼로미터의 바나듐텅스텐 옥사이드 감지물질 면적은 2304 μm²이며, BBS와 소자간의 측정거리는 6 cm에서 측정을 진행하였다. BBS로부터 소자에 입사된 광량은 Plank's equation에 의하여 BBS의 온도, aperture 크기, 반응면적, chopper와 소자사이 거리 및 필터의 투과율 등에 따라서 계산하고, modulation factor(=0.42)를 곱하여 정확한 입사광량을 구하였다. 계산된 광량에 주파수 5~90 Hz에서 lock-in amplifier에서 측정된 신호전압을 이용하여 식 (5)로부터 응답도(R)를 얻을 수 있었으며, 감지도특성은 식 (6)를 이용하여 값도 lock-in amplifier에서 구할 수 있으므로 측정된 소자의 반응면적을 대입하여 감지도(D*)를 얻을 수 있었다.

잡음전압은 볼로미터의 성능을 결정하는 중요한 요소로 잡음전압 측정은 lock-in amplifier를 통해 동기화된 초퍼의 주파수를 변화시켜가면서 측정하였다. 볼로미터의 잡음은 주파수에 따라 다르게 나타나며, 특정 주파수 대역에서 우세하게 작용하는 잡음이 존재한다. 그림 10에서와 같이 인가되는 전류의 양이 클수록 잡음이 크게 나타남을 알 수 있으며, 특정 주파수로부터 잡음전압이 일정하게 유지되며, 이는 낮은 주파수에서는 1/f 잡음이 우세하게 영향을 미치게 되며, 높은 주파수로 갈수록 주파수 영향이 적은 존슨 잡음이 우세하기 때문으로 해석된다.

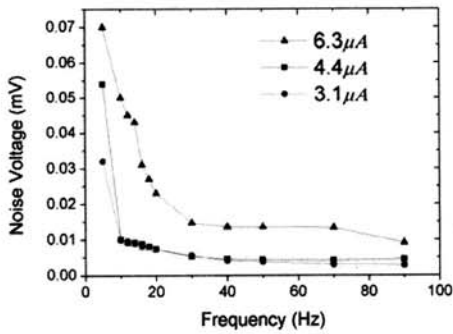


그림 10. 초퍼주파수 및 인가전류에 따른 노이즈.
Fig. 10. Variations in noise as a function of chopping frequency and bias current.

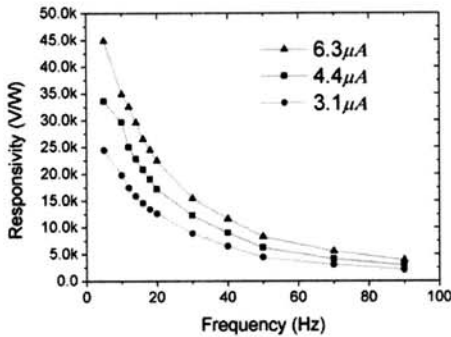


그림 11. 초퍼주파수 및 인가전류에 따른 응답도.
Fig. 11. Variations in responsivity as a function of chopping frequency and bias current.

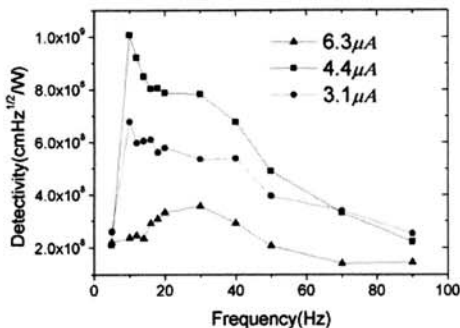


그림 12. 초퍼주파수 및 인가전류에 따른 감지도.
Fig. 12. Variations in detectivity as a function of chopping frequency and bias current.

그림 11은 초퍼의 주파수 및 인가전류에 따른 응답도 특성을 나타낸 것이며, 그림 12는 감지도 특성을 나타낸 것이다. 인가전류 4.4 μA 일 때 감지도 특성이 가장 우수하게 나타남을 볼 수 있는데, 이는 그림 11에서 인가전류가 클 때 응답도 특성은 크게 되나, 그림 10에서와 같이 잡음이 같이 커지기 때문에 감지도가 낮게 됨을 알 수 있다. 또한 10 Hz에서 4.4 μA 와 3.1 μA 에서 잡음신호의 크기가 비슷하지만 응답도가 4.4 μA 에서 크기 때문에 상대적으로 높은 감지도 특성을 갖는 것을 알 수 있으며, 이때에 감지도는 $1.01 \times 10^9 \text{ cmHz}^{1/2}/\text{W}$ 로 계산되었다.

3.3 탑승자 감지 평가

자동차 내에 탑승자 상태 인식을 위하여 간이적용 실험을 한 결과는 그림 13과 같으며, 성인을 기준으로 좌우 좌석에 탑승자가 없는 경우와 모두 착석한 경우, 한 쪽만 착석한 경우 및 어린이와 성인 이 좌우에 동시 착석된 경우를 구분하여 나타내었다.

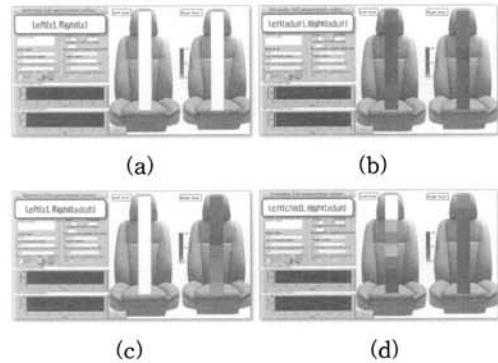


그림 13. 탑승자 인식에 대한 구분평가.
(a) 좌(X), 우(X) (b) 좌(O), 우(O) (c) 좌(X), 우(O) (d) 좌(유아), 우(O)
Fig. 13. Valuations in occupants conditions.
(a) left(X), right(X) (b) left(O), right(O) (c) left(X), right(O) (d) left(child), right(O)

탑승자 상태인식을 위한 저항변화의 측정 시에 주변온도 25 $^{\circ}\text{C}$ 일 때를 제로보정을 한 후 탑승자에 대한 저항변화를 측정하였다. 그림 1에서와 같이 2 x 8 배열에서 열 기준으로 좌측, 우측으로 구분하여 각 열 8개의 볼로미터 소자의 저항 변화값을 0에서 7번까지 그래프로 표시하였다.

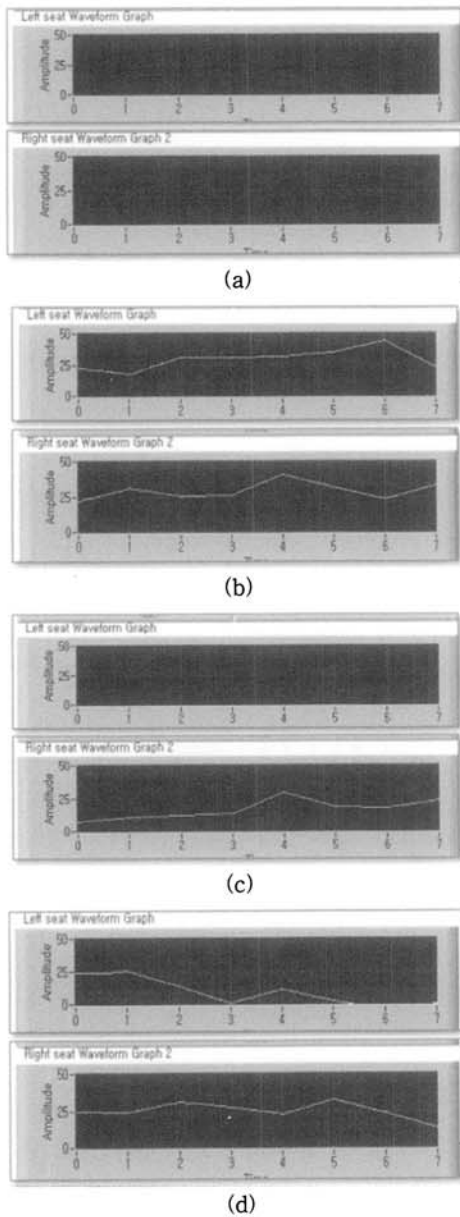


그림 14. 탑승자 인식에 대한 저항값 변화.
 (a) 좌(×), 우(×) (b) 좌(○), 우(○) (c) 좌(×), 우(○) (d) 좌(유아), 우(○)
 Fig. 14. Valuations in occupants conditions.
 (a) left(×), right(×) (b) left(○), right(○) (c) left(×), right(○) (d) left(child), right(○)

그림 14는 그림 13에 나타난 형상화된 결과에 대한 실제 저항값의 변화를 보여준 것으로 그림

13에서 (a)는 탑승자가 없을 때, 저항변화가 없을 때의 결과이며, (b)는 양쪽좌석 모두 탑승했을 때의 결과로 탑승자가 없을 때를 초기 저항값 0으로 탑승자가 양쪽좌석 모두 탑승한 경우 저항값의 변화는 최고 48 Ω, 최소 25 Ω의 변화 결과를 얻을 수 있었다. (c)는 우측좌석에 성인이 탑승했을 때 각 8개의 볼로미터가 반응하여 저항변화 값을 얻을 수 있었으며, (d)는 좌측좌석에 유아가 탑승하고 우측좌석에는 성인이 탑승했을 때의 저항변화 값에 대한 그래프로 유아 탑승 시에는 키 높이 차이에 의하여 좌측좌석의 6, 7번 볼로미터의 저항변화가 0인 값을 얻을 수 있었으며, 우측좌석은 성인의 결과로 각 볼로미터의 저항변화 값이 약 25 Ω 정도의 결과를 얻을 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 차량 내 탑승자 상태 인식을 위한 적외선 센서개발을 위하여 유한요소법을 이용하여 구조적 안정성을 시뮬레이션 한 후 마이크로 머시닝 공정을 이용하여 마이크로볼로미터 어레이 구조를 설계 및 제작하여 적외선 특성을 측정하였으며, 차량 적용에 대한 가능성을 평가하였다.

제조된 마이크로볼로미터는 열적고립구조 및 공진흡수 구조를 위하여 브리지 구조로 2 μm의 높이로 공중에 부유되었으며, 비정질 바나듐 텅스텐 합금의 산화열처리는 200 Torr, 75분에서 온도저항계수 -2.38 %/℃을 얻을 수 있었으며, 비정질 바나듐 텅스텐 합금의 박막 200 Å은 산화열처리 후 약 700 Å의 두께로 성장하였음을 확인할 수 있었다.

인체감지를 위한 8~12 μm의 영역에서 볼로미터를 설계한 결과 열용량은 7.05x10⁻⁹ J/K, 열전도도는 1.03 x 10⁻⁶ W/K, 열시정수는 6.8 ms로 계산되었으며, 10 Hz에서 인가전류 4.4 μA의 조건에서 응답도 2.96 x 10⁴ V/W, 감지도 1.01 x 10⁹ cmHz^{1/2}/W의 우수한 특성결과를 얻을 수 있었다.

자동차 내에 탑승자 상태 인식을 위하여 별도의 외부회로구성 없이 간이적인 실험으로 NI 장비와 Labview 프로그램을 이용하여 적외선 센서의 적용여부에 대한 가능성을 얻을 수 있었으며, 탑승자의 탑승여부에 대한 구분 및 성인, 유아에 구분에 대한 기초적인 반응에 대한 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구결과를 바탕으로 앞으로 탑승자 체온에 대한 정량적 실험과 ROIC(Read-Out Integrated Circuit) 회로구성 및 모듈개발을 통하여 실차에 대한 응용연구가 진행될 예정이다.

참고 문헌

- [1] L. Vlacic, M. Parent, and F. Harashima, "Intelligent vehicle technologies", SAE international, ch. 5, 2001.
- [2] B. E. Cole, "Monolithic two-dimensional arrays of micromachined microstructures for infrared applications", Proceedings of the IEEE, Vol. 86, p. 1679, 1998.
- [3] Paul W. Kruse, "A comparison of the limits to the performance of thermal and photon detector imaging arrays", Infrared Phys. Tech., Vol. 36, p. 869, 1995.
- [4] P. L. Richards, "Bolometers for infrared and millimeter waves", J. Appl. Phys., Vol. 76, p. 1, 1994.
- [5] Y.-H. Han, I.-H. Choi, H.-K. Kang, J.-Y. Park, K.-T. Kim, H.-J. Shin, and S. Moon, "Fabrication of vanadium oxide thin film with high-temperature coefficient of resistance using $V_2O_5/V/V_2O_5$ multi-layers for uncooled microbolometers", Thin solid films, Vol. 425, p. 260, 2003.
- [6] H. K. Lee, J. B. Yoon, E. S. Yoon, S. B. Ju, Y.-J. Yong, W. Lee, and S. G. Kim, "A high fill-factor infrared bolometer using micromachined multilevel electrothermal structures", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 46, p. 1489, 1999.
- [7] Y.-H. Han, K.-T. Kim, Nguyen C.-A., H.-J. Shin, I.-H. Choi, and S. Moon, "Fabrication and characterization of bolometric oxide thin film based on vanadium tungsten alloy", Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 123, p. 660, 2005.
- [8] CRC Handbook, [Http://www.matwab.com](http://www.matwab.com)
- [9] Paul W. Kruse and David D. Skatrud, "Uncooled infrared imaging arrays and systems", Academic press, Semiconductors and Semimetals, Vol. 47, 1997.
- [10] M. Liger, S. Konishi, and Y.-C. Tai, "Uncooled all-parylene bolometer", IEEE MEMS, International Conference, p. 593, 2004.