

무선 SAW 기반 마이크로 통합센서 및 무선 측정기술 개발

論 文

56-8-13

Development of Batteryless SAW-based Integrated Microsensor and Wireless Measurement Technique

吳海寬*·金泰儼**·李基根[†]·王文^{***}·梁翔植[§]

(Hae-Kwan Oh · Tae-Hyun Kim · Kee-Keun Lee · Wen Wang · Sang-Sik Yang)

Abstract - We developed a 440MHz surface acoustic wave (SAW) microsensor integrated with pressure-temperature sensors and ID tag. Two piezoelectric substrates were bonded, in which $\sim 150 \mu\text{m}$ cavity was structured. Four sides were completely sealed by JSR photoresist (PR). Pressure sensor was placed on the top substrate, whereas ID tag and temperature sensor were placed on the bottom substrate. Using network analyzer, the developed microsensor was wirelessly tested. Sharp reflection peaks with high S/N ratio, small signal attenuation, and small spurious peaks were observed. All the reflection peaks were well matched with the coupling of mode (COM) simulation results. With a 10mW RF power from the network analyzer, a ~ 1 meter readout distance was observed. Eight sharp ON reflection peaks were observed for ID tag. Temperature sensor was characterized from 20 °C to 200 °C. A large phase shift per unit temperature change was observed. The evaluated sensitivity was ~ 10 °/C.

Key Words : Surface Acoustic Wave(SAW: 표면탄성파), Temperature Sensor, Pressure Sensor, RFID Tag, Coupling of Modes(COM), Finite Element Methods(유한요소법).

1. 서 론

최근 표면탄성파 (SAW: Surface Acoustic Wave)를 기반으로 한 마이크로 센서 연구 개발이 타이어 압력센서(TPMS: Tire Pressure Monitoring System), 온도센서, 바이오센서, 가스센서 등의 응용을 중심으로 활발히 진행되고 있다 [1-4]. SAW 기반 마이크로센서는 현존하는 반도체 기반 마이크로센서에 비해 많은 장점을 보여주고 있다. 대표적으로 실험에 있어 전원을 필요로 하지 않고, 극도로 거친 주변 환경(고온, 충격, 마모 등)에서도 적용이 가능하고, 고전압 등에 의해 사람이 접근할 수 없는 영역에서도 무선으로 통신이 가능하다는 점 등이 있다. 여러 그룹이 다른 동작 원리와 디자인을 가진 SAW 기반 RFID 태그, 압력센서, 온도센서 등에 대한 연구 성과를 보고하였다 [5-8]. TPMS의 경우, Schimetta 연구팀이 높은 Q (quality) factor를 가진 정전용량 방식의 압력센서와 온도 보상 압력 측정 방식을 적용한 SAW transponder를 기반으로 한 무선 수동형 압력-온도 센서를 보고하였다 [5]. RFID 태그의 경우, Hartmann 연구팀이 128° LiNbO3 기판에 연속적인 위치와 위상 변이를 이용한 64bit

용량의 2.4 GHz 대역의 RFID 태그를 제작 보고하였다 [7]. 하지만 몇몇의 성공적인 연구 성과에도 불구하고, 현재의 SAW 기반 마이크로 센서는 큰 신호 감쇠, 광범위한 반사 피크, 높은 허위(spurious) 피크, 신호 평가 에러 등의 문제를 지니고 있다.

본 연구의 목적은 SAW를 기반으로 온도센서, 압력센서, RFID 태그를 집적화한 마이크로 센서를 개발함에 있다. 제작된 센서를 인텔리전트 빌딩 바닥에 장착하여, 인체의 하중, 움직임 등을 자동으로 감지하고 분석한 뒤 연결된 주변 기기에 데이터를 전송함으로써, 인간에 필요한 이벤트를 미리 발생시켜 유비쿼터스 환경조성을 위한 응용분야에 활용이 가능하다. 그림 1은 제작된 집적센서의 개략도이다. 그림 1(a)는 센서의 전체적인 모습이다. 두 개의 41° YX LiNbO₃ 압전기판이 본딩 되어졌고, 사면은 150 μm 두께의 JSR photoresist (PR)에 의해 차폐 (sealing) 되었다. 그림 1(b)의 상부 기판에는 압력센서가, 그림 1(c)의 하부 기판에는 온도센서와 ID 태그가 위치하며, 상하부 기판의 IDT (interdigital transducer)는 150 μm 의 금속 지지대에 의해 전기적으로 연결되었다. 금속 막대는 니켈을 전기도금(electroplating)하여 제작하였다. 네트워크 분석기의 RF 신호는 안테나를 통해 SAW 마이크로센서로 전달된다. IDT는 전달받은 전자기 (EM: Electromagnetic) 신호를 기계적인 탄성파로 변환시킨다. 변환된 표면탄성파는 두 압전기판에서 동시에 리플렉터를 향해 전파되며, 리플렉터에 의해 부분적으로 반사된다. 반사되어 IDT에 되돌아온 표면탄성파는 IDT에 의해 다시 전자기 신호로 변환되어, 네트워크 분석기로 전달된다. 네트워크 분석기에서는 반사된 피크가 리플렉터 위치에 따라 일렬로 정렬된다. 리플렉터 위치의 적절한 배열을 통해, RFID 태그, 온도,

[†] 교신저자, 正會員 : 亞州大學 電子工學科 助教授 · 工博
E-mail : keekeun@ajou.ac.kr

* 正會員 : 亞州大學 電子工學科 碩士課程

** 正會員 : 亞州大學 電子工學科 碩士課程

*** 非會員 : 亞州大學 電子工學科 研究員 · 工博

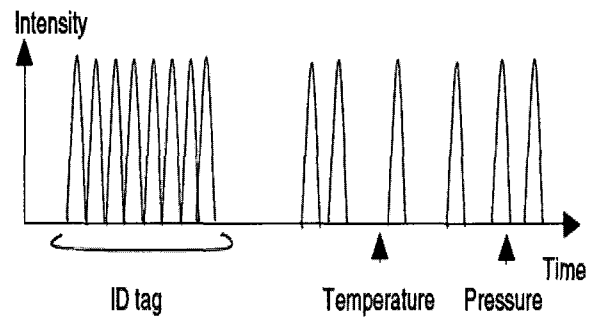
§ 正會員 : 亞州大學 電子工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2007年 6月 8日

最終完了 : 2007年 7月 11日

압력의 정보를 순차적으로 얻을 수 있다 (그림 1(d)).

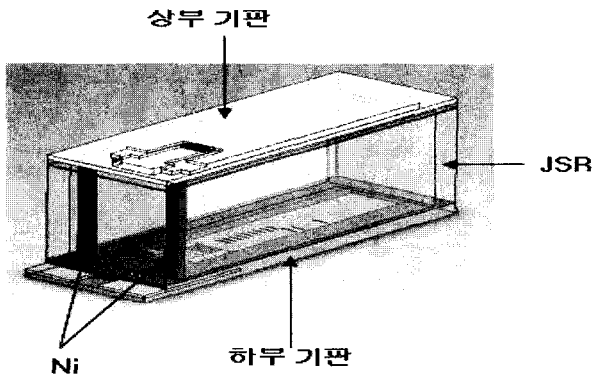
외부 압력의 변화는 상판의 휨을 야기하고, 이는 표면탄성파의 전파 길이와 속도를 변화시키며, 상판의 휨 정도에 따라 리플렉터 피크의 시간 및 위상 변화가 나타난다. 이로써 외부 압력에 따른 선형적인 위상 변화를 구할 수 있게 된다. 온도의 변화는 피크의 위치를 변화 시킨다. 이미 알고 있는 기준 온도에서의 피크와 측정된 온도에서의 피크를 비교하여, 온도의 정보를 얻을 수 있게 된다. RFID 태그의 경우, 각각의 리플렉터 피크는 '1' 데이터를 의미하고, 리플렉터 피크가 없는 경우는 '0'을 의미함으로써 바코드 타입의 ID 번호를 얻을 수 있다. Coupling of Modes (COM)를 통해 모델링하고, 유한요소법 (FEM: Finite Element Method)을 수행하여, 최적의 매개변수를 찾았다. 얻어진 매개변수를 바탕으로 소자가 제작되었으며, 네트워크 분석기를 통해 무선 특성을 측정하였다.



(d) 예상되는 시간축의 리플렉션 피크
(d) Predicted reflection peaks in the time domain.

그림 1. 마이크로 집적센서의 개략도.

Fig. 1 Schematic views of the integrated microsensor.



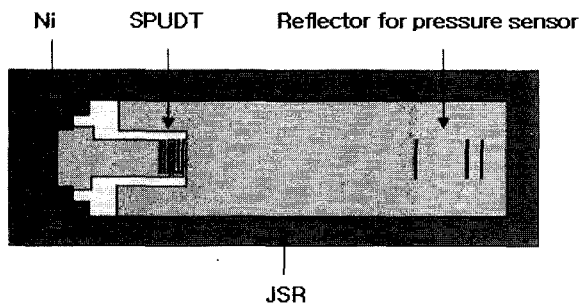
(a) 집적 센서의 개략도
(a) Schematic view of the integrated microsensor

2. 이론적 배경 (Theoretical Background)

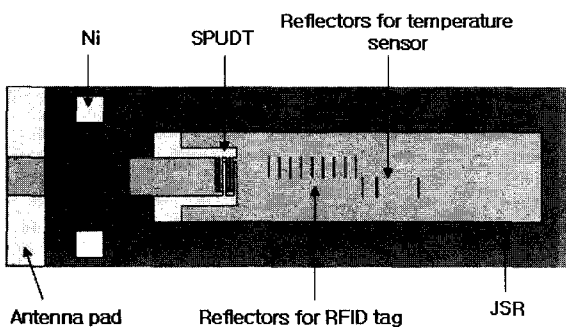
SAW 집적센서의 주요 목표는 높은 S/N 비, 선명한 리플렉터 피크, 낮은 허위 피크, 긴 무선 통신 거리, 온도와 압력에 대한 높은 민감도를 얻는 것에 있다. 목표에 맞는 최적의 소자 제작을 위해 압전 물질, 구조 매개변수, 측정 방법 등 다양한 요소가 고려되었다.

2.1 설계

전체적인 센서 제작에 있어, 주된 설계 고려사항으로는 공극(air gap)의 높이, 압전 기판의 두께, 금속 지지대, 4면의 차폐 등이 있다. 우선 상, 하부 기판 사이의 SAW 에너지의 간섭을 최소화하기 위해, 150 μm 의 공극을 설계 하였다. 압전 기판의 두께는 350 μm 를 사용하였다. 일반적으로 얇은 기판이 두꺼운 기판보다 더 좋은 민감도를 가지고 있지만, 최대 측정 가능한 압력의 범위는 공극의 깊이와 약한 기판의 특성으로 감소 될 수 있다. 상하판 IDT를 전기적으로 연결해주는 금속지지대는 RF 신호 전송 시 저항 변화에 의해 임피던스 미스매칭(impedance mismatching)을 야기한다. 고 순도의 니켈을 약 150 μm 두께로 전기 도금하였다. 센서는 JSR 포토레지스트(photoresist, PR)에 의해 사면이 차폐되어, 측정 중 간섭 가능한 외부 요소들로부터 소자를 보호해 주며, 압력 측정 시에는 소자에 가해지는 압력을 정확히 측정할 수 있게 된다. 빠른 SAW 전파 속도(4792 m/s)와 큰 전기기계 결합상수 K^2 (17.2 %) 때문에 상하기판 모두 41° YX LiNbO₃를 사용하였다 [9, 10]. 빠른 SAW 전파 속도(v)는 IDT 디자인을 $\lambda=v/f$ [λ : 파장, v : SAW 전파속도, f : 동기주파수]에서 f (440MHz)를 변화시키지 아니하고 파장(λ)을 증가시킬 수 있게 됨으로써, IDT와 리플렉터를 설계하는 과정에서 큰 폭 ($\lambda/4$)의 패턴들이 가능하게 되므로 제작공정이 용이해 진다. 큰 결합 상수 K^2 는 리플렉터에서의 높은 반사율과 적은 삽입 손실을 가능하게 한다. IDT는 삽입손실을 최소화 하기 위해 SPUDT(Single Phase Unidirectional Transducer) type을 사용하였다. 작은 허위 피크, 높은 반사도, 적은 삽입 손실을 위해 shorted-grating 리플렉터를 사용했다.



(b) 상부 압력센서의 개략도
(b) Flip-over view of the top plate for pressure sensor



(c) 하부 온도 센서 및 ID 태그의 개략도
(c) The bottom plate view for temperature sensor and ID tag

2.2 온도 센서

압전 기판은 온도 변화에 높은 민감도를 가진 41° YX LiNbO₃를 사용하였다. 온도 T 에서의 첫 번째와 두 번째 리플렉터 피크 사이에 위상 차이는 다음과 같이 나타난다.

$$\Phi_{2-1}(T) = \Phi_{2-1}(T_{ref}) \times [1 + TCD \times (T - T_{ref})] \quad (1)$$

여기서 T_{ref} 는 기준 온도이며, TCD (Temperature Coefficient of Delay)는 온도 지연 상수를 나타낸다. 그러나 위상 차이를 계산함에 있어, 위상 변이가 360°를 넘게 되면, 해석에 있어 애매함을 야기할 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해 우선 온도 센서용 리플렉터 3개를 하부 기판에 두었고, 세 번째 리플렉터와 첫 번째 리플렉터 사이의 시간지연 τ_{31} , 두 번째와 첫 번째 리플렉터 사이의 시간지연 τ_{21} 을 이용하였다. 센서의 민감도는 아래식과 같다 [11].

$$\Phi_T = k \times 2\pi f \times (\Delta\tau_{31} - \Delta\tau_{21}) \quad (2)$$

여기서 k 는 세 번째 리플렉터와 첫 번째 리플렉터 사이의 거리에 대하여 두 번째와 첫 번째 리플렉터 사이의 거리의 비이다. 제작된 센서의 첫 번째와 두 번째 리플렉터 사이의 거리는 0.415 mm이고, 두 번째와 세 번째 리플렉터 사이의 거리는 1.09 mm이다.

2.3 압력 센서

외부 압력은 기판의 휘어짐을 야기하고, 이는 탄성파의 전송 길이 L 과 SAW 전파속도 v_s 를 변화시킨다. L 과 v_s 의 변화는 리플렉터 피크의 시간과 위상을 변이시킨다. 그 변이의 정도를 측정함으로써, 외부의 압력을 알 수 있게 된다. 구부러진 기판의 중앙 부분은 늘어나게(stretched) 되고, 끝부분은 압축(compressed) 된다. 일반적으로 SAW 전파속도는 늘어난 구간에서는 느려지고, 압축된 구간에서는 빨라진다. 압력 센서는 온도 성분을 보상하기 위해 최소한 3개의 리플렉터를 필요로 한다. 첫 번째, 두 번째 리플렉터는 늘어난 구간에 위치하고, 세 번째 리플렉터는 압축된 구간에 위치한다. 각 리플렉터의 위상 변이(Φ_i)는 압력 정보(Φ_p)와 온도 정보(Φ_t)를 담고 있다. 각 리플렉터 위상변이는 다음 식으로 표현 된다.

$$\Delta\Phi_i = (\Delta\Phi_{ip} + \Delta\Phi_{it}) = 2\pi f_0 * \Delta\tau_i \quad (3)$$

여기서 f_0 는 중심 주파수이고, $\Delta\tau_i$ 는 각 리플렉터 피크의 시간지연이다. 식 (1)를 참고하면, $\Delta\Phi_{32t}$ 와 $\Delta\Phi_{21t}$ 사이의 관계식을 유도 할 수 있다.

$$\Delta\Phi_{32t} = \frac{L_3}{L_2} \times \Delta\Phi_{21t} \quad (4)$$

여기서 $\Delta\Phi_{32t}$ 와 $\Delta\Phi_{21t}$ 는 온도에 의한 위상 변이이고, L_2 는 첫 번째와 두 번째 리플렉터 사이의 거리, L_3 는 두 번째와 세

번째 리플렉터 사이의 거리이다. 구부러진 기판에 의해 야기되는 전체 위상변이($\Delta\Phi_s$)는 다음과 같다.

$$\Delta\Phi_s = (\Delta\Phi_{21p} + \Delta\Phi_{21t}) - \omega \times (\Delta\Phi_{32p} + \Delta\Phi_{32t}) \quad (5)$$

여기서 ω 는 첫 번째 두 번째 리플렉터 사이의 거리에 대한 두 번째 세 번째 리플렉터 사이의 거리 비이다. 식 (4)를 식 (5)에 대입 하게 되면, 식 (5)은 오로지 압력 정보만을 갖게 되어 온도에 의한 효과는 보상된다. ω 가 증가할수록 위의 온도 보상방법은 더욱 효과적이다 [12-14].

2.4 ID tag

8개의 바코드 형태의 리플렉터들은 일렬로 정렬되었다. 각각의 리플렉터 피크는 '1' 데이터를 의미하고, 리플렉터 피크가 없는 경우는 '0'을 의미함으로써 바코드 타입의 ID 번호를 얻을 수 있다. 하나의 피크가 1 bit를 의미하므로, 8개의 리플렉터를 사용하여 28개의 개별 채널을 구분 할 수 있게 된다. Shorted-grating 리플렉터를 통해 삽입 손실을 최소화 하였다. 두 개의 음향 트랙(acoustic tracks)을 하부 기판에 적용하여 허위 피크를 최소화 하였다.

2.5 무선 통신 거리

무선 통신 거리는 여러 변수들에 의해 영향을 받는다. 레이다 방정식에 의하면 무선 통신 거리 r 은 다음과 같이 정의 된다.

$$r = \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{P_0 \cdot G_t^2 \cdot G_r^2 \cdot \lambda^4}{kT_0 \cdot B \cdot F \cdot S/N \cdot D}} \quad (6)$$

여기서 λ 는 파장, P_0 는 입사 전력, G_t 는 리더기 쪽의 안테나 이득, G_r 는 센서의 안테나 이득, k 는 볼츠만 상수, T_0 는 절대 온도, B 는 시스템 대역폭, F 는 시스템 노이즈, S/N 은 신호 대 잡음비, D 는 센서의 삽입 손실 이다. 통신 거리의 향상을 위해서는 입사 전력(P_0)를 높이거나, 리더와 센서의 안테나의 이득을 높이거나, 삽입 손실(D)을 줄이는 방법이 있을 수 있다. 하지만 이 중 안테나 이득을 높이는 방법과 삽입 손실을 줄이는 방법이 가장 현실적이다. 입사 전력은 네트워크 분석 장비에 의해 한정된 값이고, 높은 입사 전력은 인체에 해를 끼칠 수 있어 전파 통신 규제에 의해 제한되어 있다.

3. 제작 및 무선 측정 시스템

그림 2는 제작 순서를 개략적으로 나타낸 것이다. 상부 압력 센서의 제작을 위해, 350 μm 4" 41° YX LiNbO₃에 1500Å 알루미늄을 electron beam evaporator를 사용하여 증착한다. 1 μm 의 AZ 1512 감광제(PR)를 스핀 코팅한 후 노광을 통해 IDT와 3개의 리플렉터를 패터닝 한다. 습식 식각을 통해 알루미늄을 제거하고, 아세톤으로 PR을 제거한 후 여러 번의 린스를 통해 기판위의 불필요한 물질을 제거한다 (그림 2(a)). AZ 4620을 10 μm 스핀 코팅한 후, 노광을 통해 electroplating에 사용될 씨앗층(seed layer)을 패터닝 한다. 500 Å/2000 Å의

Ti/Au를 electron beam evaporator로 증착한 후, 아세톤으로 lift-off 한다. ~80 μm 두께의 PR인 JSR을 스핀 코팅한 후 노광을 통해 사면이 차폐되도록 패턴을 한다 (그림 2(b)). JSR을 현상한 후 electroplating을 통해 Ni을 도금한다 (그림 2(c)). 하부 기판 역시 상부와 같은 공정을 통해 제작한 후, 전도성 실버 페이스트를 통해 상부와 하부를 접합한다. SAW 센서와 안테나 간의 연결은 와이어 접합을 하였다.

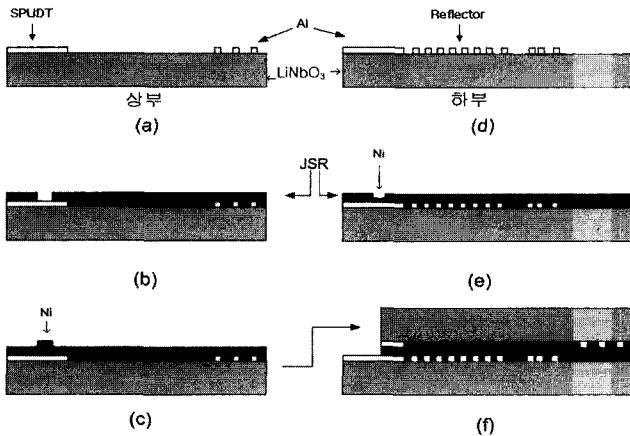


그림 2. 마이크로 집적센서의 공정도

- (a) Al 식각
- (b) JSR 패턴닝
- (c) Ni-electroplating
- (d) 하부기판의 IDT/reflector 패턴닝
- (e) Ni-electroplating,
- (f) 상하기판 본딩

Fig. 2 Fabrication procedure for the integrated microsensor

그림 3은 무선 측정 실험의 모습이다. 제작된 소자의 무선 특성을 파악하기 위해, 반사계수 S_{11} 을 HP 8510 네트워크 분석기를 이용하여 측정하였다. 두 개의 안테나는 440 MHz의 중심 주파수를 갖도록 설계 되었으며, 하나의 안테나는 네트워크 분석기의 S_{11} 포트에 연결되었고, 나머지는 SAW 소자의 하부기판에 연결되어 있다.

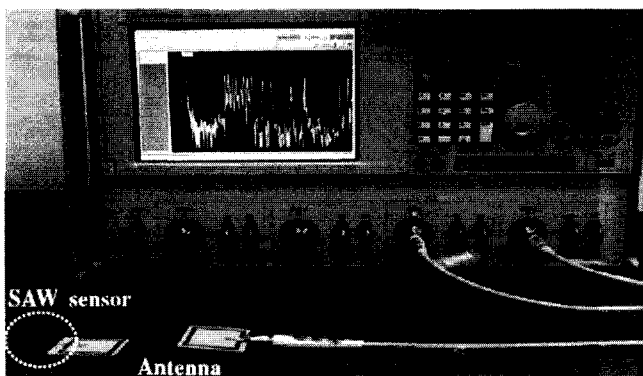


그림 3. 무선 측정 실험 장치

Fig. 3 Measurement setup using the network analyzer

4. 결 과

그림 4는 제작되어진 소자를 광학 현미경으로 찍은 사진이

다. 그림 4(a, b)에서 소자의 4면이 JSR에 의해 차폐된 모습을 확인 할 수 있다. 그림 4(c)는 접합된 두 기판의 단면 사진이다. 상하기판의 두 IDT는 Ni 금속지지대에 의해 전기적으로 연결되어 있다. 그림 5는 외부 압력이 없는 실온에서 10 mW의 RF power를 인가하고, ~20 cm 정도의 거리를 두었을 때 네트워크 분석기에서 측정된 리플렉션 피크들이다. ID 태그의 8개의 피크와 온도센서의 3개의 피크, 압력센서의 3개의 피크가 차례로 관찰 되었다.

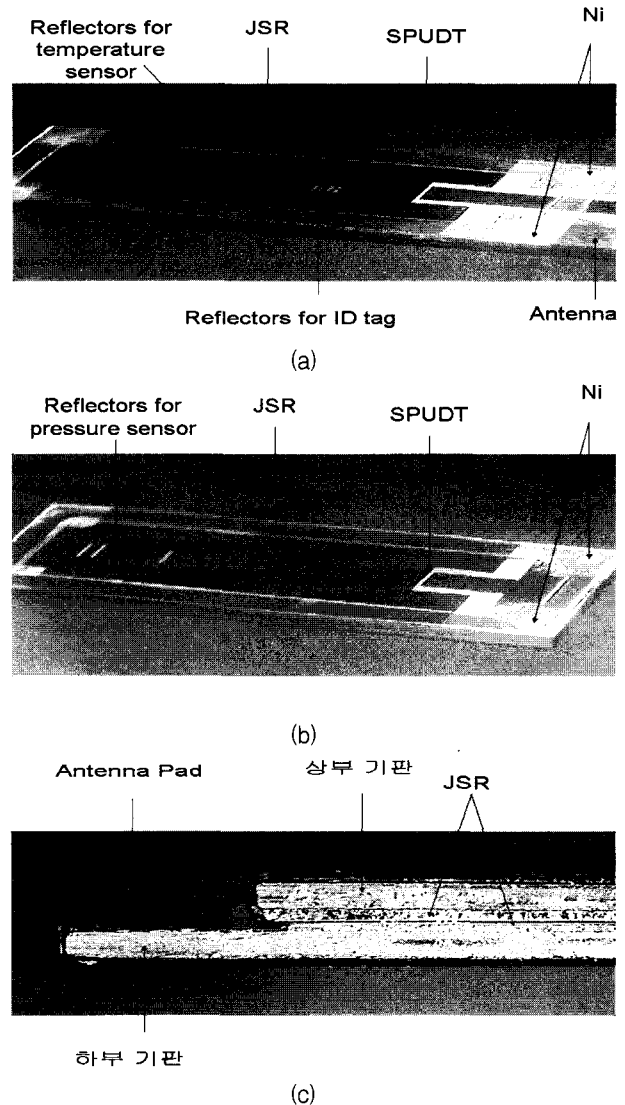


그림 4. 제작된 센서의 광학 사진.

- (a) 하부기판 (b) 상부기판 (c) 접합된 소자

Fig. 4 Optical views of the fabricated devices.

- (a) The bottom plate for temperature sensors and ID tag
- (b) The top plate for pressure sensor
- (c) Bonded device

ID tag의 경우, 네트워크 분석기로부터 8개의 선명한 ON 피크가 관찰 된다. 리플렉터 피크 사이의 중복 없이 적절한 분리가 관찰 된다. IDT와 첫 번째 리플렉터 사이의 시간 간격은 1 μs이다. 이는 환경적인 noise echo 와 리플렉터 피크

의 분별을 가능하게 한다. 사용된 네트워크 분석기의 RF power는 -40 dBm 에서 10 dBm 이다. 최대 전력인 10 dBm(10 mW)를 인가하였을 때 ~1 m의 무선 통신 거리가 관찰되었다. 안테나 이득의 증가와 인가하는 입사 전력의 증가, 삽입 손실의 감소를 통해 향후 더욱 긴 무선 통신 거리를 얻을 수 있을 것이다.

온도센서의 경우, 핫플레이트 위에 소자를 놓고 온도를 20 °C에서 200 °C 변화시키고, 20 cm 정도의 거리를 두고 10 mW RF power를 인가시켜, 그 때 위상 변이를 관찰하였다. 그림 6과 같이 온도 변화에 따른 선형적인 위상 변이가 관찰되었다. 측정된 감도는 ~10 °/°C 이며, 이는 LiNbO₃ 의 높은 TCD (-69 ppm/°C)가 온도 변화에 대한 높은 민감도를 제공하였고, shorted-grating 리플렉터의 사용으로 인한 작은 허위 피크와 높은 반사도 그리고 적은 삽입 손실을 통해 얻은 결과이다.

압력센서의 경우, 기관 중앙에 물체를 올려놓고 (외부 압력에 해당), 20 cm 정도의 거리를 두고 10 mW RF power를 인가시켰을 때, 위상과 시간의 변이를 측정하여 외부 압력을 측정하였다. 하지만 좋은 결과가 나오지 못하였고, 향후 변밀한 분석을 통하여, 더욱 보완해야 할 점이다. 그림 7은 현재 진행 중인 압력센서의 측정 실험이다. 안테나와 연결된 집적 센서가 타이어 휠에 부착되었고, 압력의 변화에 따른 리플렉터 피크의 시간 및 위상 변이를 측정하고자 한다.

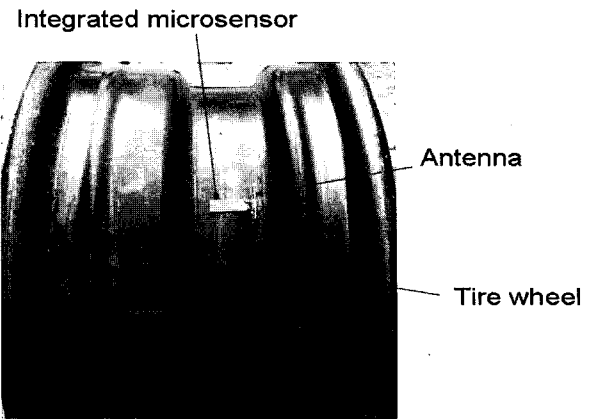


그림 7. 타이어 휠을 이용한 압력 측정 실험 사진
Fig. 7 Optical photograph for measuring the pressure using a tire wheel

5. 결 론

본 논문에서는 온도, 압력, RFID 태그가 집적된 SAW 기반 마이크로 센서를 제작하였다. COM 모델링을 통해 공정에 앞서 정확한 소자의 크기를 결정하고, 시뮬레이션을 통해 최적의 매개변수를 결정하였다. 높은 S/N비, 적은 신호 잡음과 허위 피크, 선명한 리플렉터 피크를 무선 측정을 통해 관찰하였다. 네트워크 분석기로부터 10 mW의 RF power를 인가하였을 때, 8개의 선명한 ID 태그용 리플렉터 피크가 예측한 영역 내에서 관찰 되었다. 온도센서 측정시 200 °C까지의 위상 변이가 매우 선형적으로 나타났으며, 측정된 민감도는 ~10 °/°C 이다. 우리는 이 결과로부터, 인텔리전트 빌딩에 무선 무전원 인체 인식 센서로서의 가능성을 확인 할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Reindl L, "Wireless passive SAW identification marks and sensors", Symp. on Acoustic Wave Devices for Future Mobile Communication Systems (Chiba), p. 21, 2004.
- [2] Lange K, Blasess G, Voigt A, "Integration of a surface acoustic wave biosensor in a microfluidic polymer chip", Biosensors Bioelectron., vol. 22, p. 227, 2006.
- [3] Dong Y, Cheng W, Wang S, "A multi-resolution passive SAW chemical sensor", Sensors Actuators B, vol. 76, pp. 130, 2001.
- [4] Reindl L, Ruppel C, Riek K, Pankratz T, Weigel R, "A wireless AQP pressure sensor using chirped SAW delay lines structures", IEEE Ultrasonics Symp., p. 355, 1998.
- [5] Schimetta G, Dollinger F, Scholl G, Weigel R, "Optimized design and fabrication of a wireless

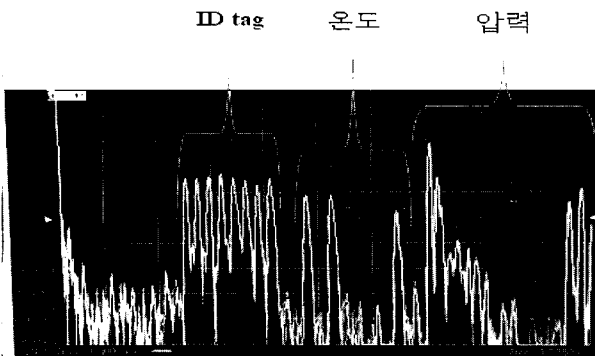


그림 5. 측정된 리플렉션 피크
Fig. 5 Experimentally measured reflection peaks.

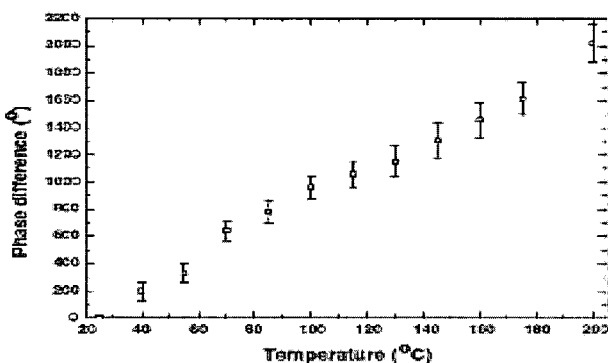


그림 6. 온도 변화에 따른 위상 변이
Fig. 6 Phase angle shifts in terms of temperature change.

pressure and temperature sensor unit based on SAW transponder technology", IEEE Ultrasonics Symp., p. 355, 2001.

[6] Reindl L, Pohl A, Schll G, Weigel R, "SAW based radio sensor systems", IEEE Sensors J., vol. 1, p. 69, 2001.

[7] Hartmann C, "A global SAW ID tag with large data capacity", IEEE Ultrasonics Symp., p. 65, 2002

[8] Hartmann C, Brown P, Bellamy J, "Design of global SAW RFID tag devices", Symp. on Acoustic Wave Devices for Future Mobile Communication Systems (Chiba), p 15, 2004.

[9] Campbell C, "Surface Acoustic Wave Devices for Mobile and Wireless Communications", London: Academic, 1988.

[10] Gardner J, Varadan V, Awadelkarim O, "Microsensors

MEMS and Smart Devices", New York: Wiley, 2001.

[11] Reindl L, Shrena I, "Wireless measurement of temperature using surface acoustic waves sensors", IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control, vol. 51, p. 1457, 2004.

[12] Reindl L, Scholl G, Ostertag T, Scherr H, Wolff U, Schmidt F, "Theory and application of passive SAW radio transponders as sensors", IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control, vol. 45, p. 1281, 1998.

[13] Talbi A, Elmazria O, Sarry F, Alnot P, "Thickness and harmonic frequency effects on the range and sensitivity of SAW pressure sensor", European Conf. on Solid-State Transducers (Prague), p. 638, 2002.

[14] Scherr H, Scholl G, Seifert F, Weigel R, "Quartz pressure sensor based on SAW reflective delay line", IEEE Ultrasonics Symp., p. 347, 1996.

저 자 소 개



오 해 관 (吳海寬)

2007년 아주대학교 전자공학부 졸업.
2007년 ~ 현재 동 대학원 석사 과정.
주관심분야 : SAW sensor, Bio-MEMS
Tel : 031-219-2488
Fax : 031-212-9531
E-mail : nasahu@ajou.ac.kr



김 태 현 (金泰儼)

2005년 강릉대학교 세라믹공학과 학사 졸업
2006년 ~ 아주대학교 전자공학과 석사 과정
주관심분야: SAW 센서, Neural probes
Tel : 031-219-2488
Fax : 031-212-9531
E-mail : taehyun@ajou.ac.kr



이 기 근 (李基根)

1988년 광운대학교 전자 학사 졸업
1993년 University of Florida 재료 석사 졸업.
2001년 Arizona State University 전자 박사 졸업.
현재 아주대학교 전자공학부 조교수.
주관심분야: SAW 센서, Neural probes, RF MEMS
Tel : 031-219-1848 Fax : 031-212-9531
E-mail : keekeun@ajou.ac.kr



왕 wen (王文)

B.S. Central South University, Electrical Eng., 1999. M.S. Central South University, Electrical Eng., 2001. Ph. D. The Chinese Academy of Science, 2005. Current Ajou University, Electronics Eng., Post doctor.
<Research Interests : SAW sensor, Modeling and Simulation>
Tel : 031-219-2488 Fax : 031-212-9531
E-mail : wangwenwq@hotmail.com



양 상 식 (梁翔植)

1980년 서울대학교 기계공학과 학사 졸업.
1983년 서울대학교 기계공학과 석사 졸업.
1988년 University of California at Berkeley 기계공학과 박사 졸업.
현재 아주대학교 전자공학부 교수.
주관심분야: 마이크로 소자의 Mechanism 과 Actuation, Motion Control>
Tel : 031-219-2481, Fax : 031-212-9531
E-mail : sssyang@ajou.ac.kr