

양방향 반사 지연선을 이용한 무선, 무전원 SAW 기반 온, 습도 센서 개발

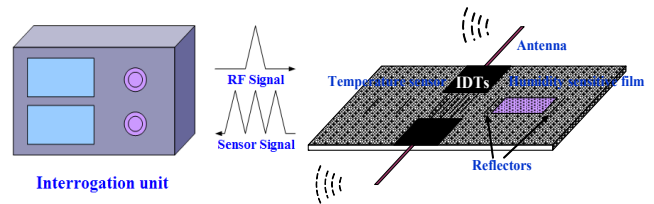
임천배, 이기근*
아주대학교 전자공학과

Development of a Wireless, Battery-free SAW-based Temperature and Humidity Sensor incorporating a Bidirectional Reflective Delay Line

Chun-bae Lim, Kee-keun Lee*
Department of Electronics Engineering, Ajou University

Abstract - A 440MHz wireless and passive surface acoustic wave (SAW) based micro-sensor was developed for simultaneous measurement of temperature and humidity. The developed sensor is composed of a SAW reflective delay lines structured by an IDT (Inter-Digital Transducer), four reflectors and humidity sensitive film (polyimide). Polyimide was dry-etched by RIE (Reactive Ion Etching) to obtain high roughness, which gives the large reaction area resulting in high sensitivity. In wireless testing using a network analyzer, sharp reflection peaks with high S/N ratio, small signal attenuation, and few spurious peaks were observed in the time domain. High sensitivity towards the temperature and humidity were also observed in the large concentration range. The obtained sensitivity was 16.8°/C for temperature sensor and 15.8%/RH for humidity sensor.

하게 된다. 결과적으로, 온도와 습도에 대한 정보는 도달된 피크의 변화된 시간차를 이용하여 알아낼 수 있다. 또한 위상각은 시간차에 정비례하며, 시간차의 변화를 통해 위상각 변화를 감지할 수 있다.



<그림 1> 표면 탄성과 온, 습도 센서 시스템의 개략도

1. 서 론

습도의 감지는 환경의 감지에 있어서 매우 기본적이고 중요한 요소이다. 또한 습도의 감지와 이를 통한 제어는 인간의 실생활에서 중요할 뿐만 아니라, 의학 분야, 기상학 분야, 농업 분야, 공정 제어 등의 산업 분야에서도 매우 중요하다. 일반적으로 습도 센서는 높은 민감도, 빠른 반응 시간, 뛰어난 반복성, 제작의 용이성, 대량 생산성, 저비용 등의 요구 사항을 갖는데, 이는 표면 탄성과 기반 센서의 고유 특징인 높은 민감도와 해상도, 좋은 안정성, 작은 크기, 대량 생산성 등의 장점과 잘 부합된다. 이와 더불어 감지 필름과 감지 대상의 반응을 통한 정보를 실시간으로 파악할 수 있기 때문에 여러 센서들을 통한 실시간 다중 감지 시스템 구축이 가능하다. 또한 표면탄성과 반사 지연선(reflective delay line)을 이용하면 부가적인 회로 구성이 없이 안테나만으로 무선통신이 가능하기 때문에 발전기 구조의 표면탄성과 센서 보다 더욱 경제적이다 할 수 있다. 그러나 표면 탄성과 기반의 센서는 주위 환경 요소인 온도나 압력 등의 요소에 민감하므로 이를 대비하고 감지하기 위한 보상 센서가 필요하다.

이와 같은 요구사항에 대응하여 본 논문에서는 무선 특성과 전원을 필요로 하지 않는 반사 지연선 구조의 표면탄성과 (SAW: Surface Acoustic Wave)를 기반으로 온도와 습도의 실시간 동시 감지가 가능한 온, 습도 집적 센서를 제작하였고, 습도 감지 필름으로 쓰인 폴리이미드(polyimide)의 공정 조건을 달리하여 더욱 높은 민감도를 실현시키고자 하였다.

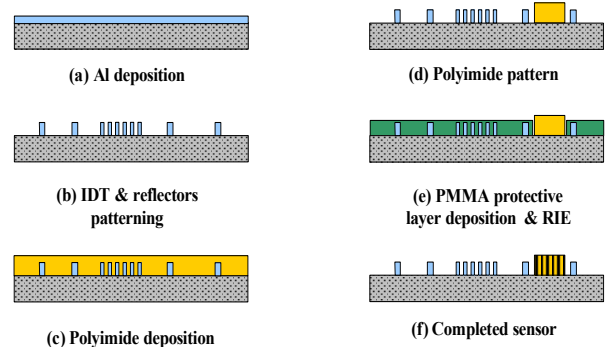
2. 본 론

2.1 동작원리

그림 1은 본 센서의 개요도를 나타내고 있다. 안테나를 통해 전자기와 에너지를 받은 센서는 IDT (Interdigital Transducer) 를 통해 표면탄성파를 발생시키며, 이는 IDT의 양방향으로 전달되어 각각의 리플렉터(reflector)에 의해 부분적으로 반사된다. 반사된 신호들은 다시 IDT에 도달하게 되며, 전자기와 에너지로 재 변환되어 안테나를 통해 측정기로 전송된다. 그림 1에서 보듯 본 센서는 온도의 감지와 보상을 위한 온도 센서와 습도의 감지를 위한 폴리이미드 필름을 이용한 습도 센서가 집적되었다. IDT 좌측 부분에 집적된 온도 센서는 기판의 열팽창 계수로 인한 두 리플렉터 사이의 거리 변화와 전파 속도 변화로 야기된 시간차를 측정함으로써 알아낼 수 있다 [1]. 우측의 습도센서는 두 리플렉터 사이에 배치된 폴리이미드 습도 감지 필름과 습기의 물리/화학적 흡착으로 질량 적재 효과 (mass loading effect)가 발생된다. 질량 적재 효과는 감지필름을 지나가는 표면탄성파의 속도 변화를 야기하며, 이로 인해 네트워크 분석기의 시간영역에서 두 리플렉터 사이의 도달 시간차가 변

2.2 제작공정

그림 2는 본 센서의 제작 공정도를 나타내고 있다. 기판의 선택은 빠른 전파 속도(~4750m/s), 높은 전기기계 결합 상수(~17.2%)를 갖는 전단수평 파동 (shear horizontal wave)특성의 41° YX LiNbO₃ 압전 기판을 사용하였다. IDT와 리플렉터는 알루미늄으로 이루어져 있고 e-beam evaporator에 의해 증착되었다. 두께는 질량적재와 감쇠도를 최소화하기 위해 1500Å을 증착하였다. 습도 감지 필름은 폴리이미드 (Durimide 7510, Fuji 社)를 사용하였고 스프인 코팅 후 패턴 하였다. 또한 감지 필름의 거칠기(roughness) 변화에 따른 센서의 민감도를 비교하고 최적화하기 위해 각각 스프인코팅조건과 산소 RIE 조건(150W, 1분, 3분, 5분, 7분)을 달리하여 제작하였다.

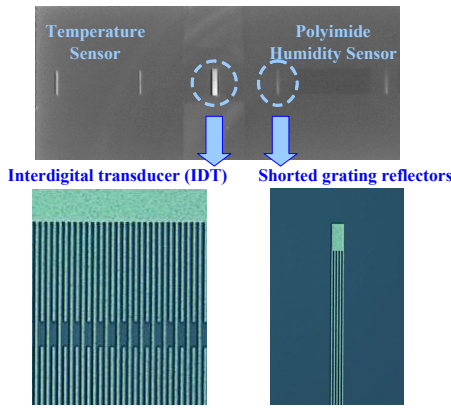


<그림 2> 센서의 제작 공정도

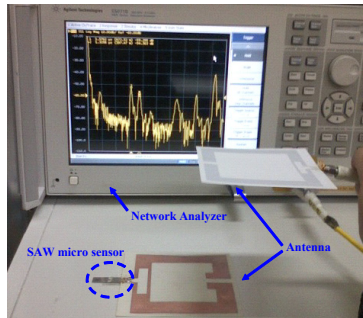
2.3 실험결과

그림 3은 제작된 센서의 광학 현미경 사진이다. IDT 핑거는 $V_{SAW} = f_0 \times \lambda$ 의 공식에 의해 2.7 μ m ($\lambda/4$) 로 설정 되었다. 여기서 V_{SAW} 는 표면 탄성파의 속도, f_0 는 중심 주파수, λ 는 표면탄성파의 주기를 나타낸다. 그림 4(a)는 본 센서의 무선 측정 사진이며, 온도와 습도에 대한 반응을 측정하기 위한 구성요소는 HP8510 네트워크 분석기, 챔버, 온도계, 습도계, 센서, 440MHz 안테나, 플로우 미터, 히터 등이 사용되었다. 그림 4(b)는 1기압, 25°C, 20%RH에서 측정된 S₁₁이며, COM

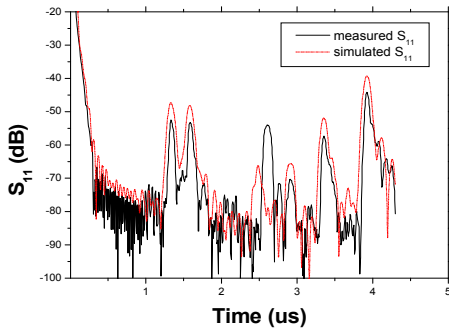
(Coupling Of Mode) 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 거의 일치 하였다 [2]. 그림 5는 온도 센서 부분의 측정 결과이며 약 16.8°/°C의 민감도를 보였다. 온도 센서의 결과를 통하여 온도와 습도의 두 영향을 받는 습도 센서 부분의 여러 온도 조건에 따른 실질적인 상대 습도를 계산할 수 있다. 그림 6은 폴리이미드 습도 감지 필름의 각각의 RIE 조건에 따른 습도 실험 결과이다. 습도 센서의 민감도는 각각 RIE 1분의 경우 7.9°/%RH, 3분의 경우 11.1°/%RH, 5분의 경우 13.3°/%RH, 7분의 경우 15.8°/%RH의 결과를 얻었다. 실험으로 얻어진 결과를 통하여 RIE의 시간이 증가함에 습도에 대한 민감도가 커지는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 감지 필름의 면적이 증가하여 동일한 환경에서 더욱 많은 수증기와 반응함을 유추할 수 있다. 또한 분해능(resolution)의 측면에서도 더욱 높은 민감도는 좋은 분해능을 가지므로 7분 동안 RIE 처리한 소자가 가장 좋은 분해능을 보인다. 측정기기가 1°의 위상각 분해능을 가질 경우, 제작된 센서의 습도에 대한 분해능은 약 0.063%RH로서 좋은 성능을 띠다고 할 수 있다 [3].



<그림 3> 제작된 소자의 광학 현미경 사진

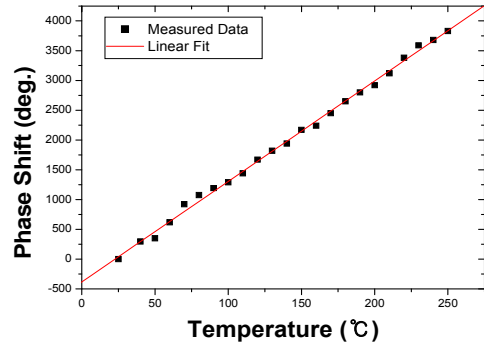


(a)

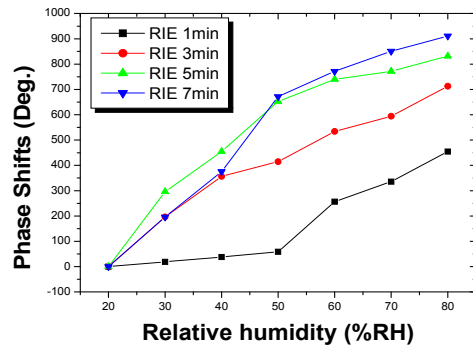


(b)

<그림 4> (a) 제작된 소자의 무선 측정 사진 (b) COM 시뮬레이션 결과와 측정 결과와의 비교



<그림 5> 온도 센서의 온도에 따른 위상각 변화량 측정 결과



<그림 6> 습도 센서의 감지 필름 RIE 조건과 습도에 따른 위상각 변화량 측정 결과

3. 결 론

본 논문은 440MHz ISM (Industrial Scientific Medical) 대역의 중심 주파수와 수동적(passive)인 특성을 갖는 무선, 무전원 표면 탄성파 기반 온도, 습도 집적 센서를 개발하였다. 온도 보상과 감지를 위해 온도 센서를 집적하였으며, 온도에 대한 민감도는 약 16.8°/°C이었다. 습도의 민감도를 높이기 위해 RIE를 이용한 거칠기 변화를 실시하였으며, 이로 인한 감지 면적의 증가로 높은 민감도를 얻었다. 최고 민감도는 RIE 조건을 150W, 7분으로 하였을 때 가장 큰 민감도(15.8°/%RH)를 보였다. 실험을 통해 제작된 센서의 높은 민감도, 뛰어난 분해능의 실현과 온도 보상의 가능성을 입증하였다. 장래 연구로 신뢰성과 반복성에 대해 연구할 예정이다.

[참 고 문 헌]

[1] Keekeun Lee, Wen Wang, Taehyun Kim and Sangsik Yang, A novel 440MHz wireless SAW microsensor integrated with pressure-temperature sensors and ID tag, *J. Micromech. Microeng.* **17**, 515~523 (2007).
 [2] Hashimoto Ken-ya, *Surface Acoustic Wave Devices in Telecommunications-Modeling and Simulation*, NewYork: Springer-Verlag (2000).
 [3] M. Penza, V.I. Anisimkin, Surface acoustic wave humidity sensor using polyvinyl-alcohol film, *Sensors and Actuators A* **76**, 162~166 (1999).