

위상변화를 이용한 표면탄성과 가스센서

김진상[†] · 정용철 · 강종윤 · 김달영 · 남창우* · 윤석진

Surface acoustic wave gas sensors by utilizing the phase change

Jin-Sang Kim[†], Yong-Chul Jung, Chong-Yun Kang, Dal-Young Kim,
Chang-Woo Nam*, and Seok-Jin Yoon

Abstract

This paper describes the development of a surface acoustic wave gas sensor that is designed to detect volatile gas by monitoring phase change of output signal as a function of time. The sensor consists of SAW oscillators with a center frequency of 100 MHz fabricated on 128° Y-Z LiNbO₃ substrates. Experimental results, which show the phase change of output signal under the absorption of volatile gas onto sensors, are presented. The proposed sensor has the properties of high sensitivity compare to the conventional SAW gas sensor and chemical selectivity. Thus, it is thought these results are applicable for use in sensor array of an high performance electronic nose system.

Key Words : SAW, gas sensor, phase shift, electronic nose

1. 서 론

가스센서에 대한 연구는 오래 전부터 이루어져 왔으며 현재 다양한 종류의 가스센서가 실용화되어 있다. 이들 가스센서의 검출 기구는 소자의 표면에서 검출 대상 가스가 흡착됨으로 유발되는 화학적 변화를 전기 신호로 변환하는 것이다. 검출원리에 따라 반도체형, 고체 전해질형, 전기 화학형, 접촉연소형 가스센서등으로 구분되어지고 있다. 근래에 들어서는 표면탄성과파(Surface Acoustic Wave: SAW)를 이용한 가스 센서등이 개발되어 1 pico gram의 매우 고감도 감지능을 구현하고 있다¹⁻⁵⁾. 통상적인 표면탄성과파 가스센서의 동작 원리는 가스가 압전 소자에 흡착되어 나타나는 미세 질량변화로 인해 표면탄성과파의 진행이 방해받게 되고 이로 인해 유발되는 중심 주파수의 변화를 감지하는 것이다¹⁻⁵⁾. 따라서 여타의 가스센서와는 달리 주파수 변화회로를 구현하여야 하는 측정상의 단점이 있으나

감지능 측면에서는 매우 우수하다.

근래의 광통신 부품의 발달과 더불어 표면탄성과파를 이용한 센서 어레이에 대한 연구개발이 매우 활발하게 진행되고 있다^{1,6)}. 표면탄성과파 가스 센서의 경우 가스센서가 갖고 있는 기능이 어떤 특정가스를 감지·정량하기 위해서는 특정가스에 대한 선택성이 있는 흡착물질을 증착하고, 여러 개의 센서를 조합한 어레이를 사용함으로써 각 개별소자가 반응하는 응답패턴으로부터 특정가스의 존재여부를 인식함과 동시에 정량적으로 측정할 수 있게 된다⁶⁾.

본 연구에서는 통상적인 표면탄성과파 가스센서와는 달리, 압전 소자에서 가스 흡착에 따른 출력단의 시간에 따른 위상변위로부터 특정 가스 존재여부를 인식할 수 있는 센서를 제작하였다. 즉, 출력단에서 시간에 따른 위상의 변화는 흡착되는 가스의 종류에 따라 서로 달리 나타나게 된다. 따라서 이러한 여러 센서를 조합한 어레이를 사용하면 특정가스의 존재 여부를 인식할 수 있을 것으로 판단된다. 본 실험에서는 표면탄성과파 단소자로부터 에탄올, 아세톤, 이소프로필 알콜 등 휘발성 물질의 감지센서를 제작하고 그 특성을 관찰하였다.

한국과학기술연구원 박막재료연구센터(Thin Film Materials Research center, Korea Institute of Science and Technology)

*울산대학교 전기전자정보 시스템 공학부(University of Ulsan School of electrical engineering)

[†]Corresponding author: jskim@kist.re.kr

(Received : February 1, 2005, Accepted : March 8, 2005)

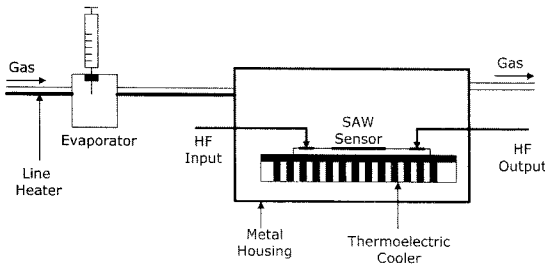


그림 1. 제작된 SAW 센서 측정시스템
Fig. 1. Experimental setup for testing the SAW sensors.

2. 실험 방법

128° Y-Z LiNbO₃ 단결정 기판을 사용하여 중심주파수 100 MHz의 표면탄성파 필터를 설계 제작하였다. 전극들간의 반사를 작게 하기 위해서 double electrode 방식을 채택하였다. IDT 전극수는 입력단에 18쌍, 출력단에 12쌍이었으며 지연거리는 5 mm, 전극 선폭 및 갭은 각각 4.85 μm, Aperture는 2.6 mm였다. 우선 전극 물질로 사용한 알루미늄을 3000 Å의 두께로 스퍼터링법으로 리튬니오베이트(LN) 기판위에 증착한 후 사진식각 공정 및 습식식각 법으로 SAW 센서를 제작하였다. 센서 제작 시 표면 탄성파의 전파방향은 LN 기판의 x 축과 평행하게 하였다.

가스센서의 특성 평가를 위하여 그림 1과 같은 SAW 센서 측정시스템을 제작하였다. 제작된 SAW 센서의 온도를 정밀하게 제어하기 위해서 열전냉각 소자 위에 센서를 위치시키고 측정조건에 따라 열전냉각소자의 온도를 45~100 °C까지 제어할 수 있도록 하였다. 질소가스를 이송가스로 사용하였으며 유량 조절기(mass flow controller)로 분당 40 cc의 질소가스를 일정하게 흘려주었다. 그림에 보는 바와 같이 가스라인 중간에 증발기를 설치하고 마이크로 주사기를 사용하여 에탄올, 아세톤 등 측정하고자 하는 물질을 주입시켰다. 이때 가스라인은 히터를 사용하여 감지하고자 하는 물질이 충분히 증발 할 수 있도록 하였다. 본 연구에 사용된 측정 시스템에서 메탈 하우징의 부피는 15 cm³였다. HP 사의 모델 8720C 네트워크 어널라이저를 사용하여 제작된 필터의 동작특성 및 시간에 따른 S21 위상변화를 측정하였다.

3. 실험 결과

제작된 SAW 센서의 주파수 응답특성을 그림 2에 나타내었다. 그림에서 측정된 중심주파수는 100 MHz로

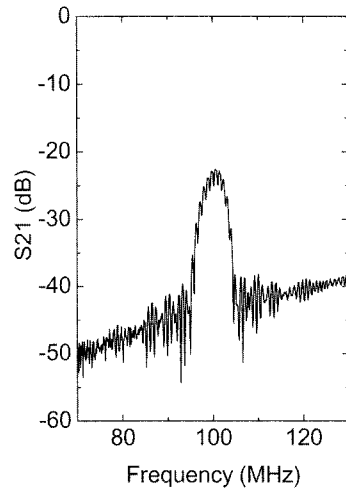


그림 2. LN 기판위에 제작된 SAW 센서의 주파수 응답 특성
Fig. 2. Output signal of fabricated SAW oscillator on LN substrate.

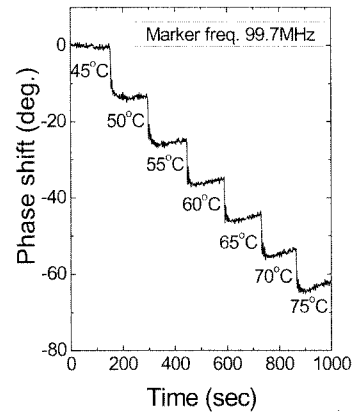


그림 3. 센서온도변화에 따른 위상변화
Fig. 3. Temperature behavior of phase shift.

설계된 것과 동일한 값을 보였다. 삽입손실은 22 dB로 다소간 크게 나타났다. 이는 메탈하우징 내에서 전기적 접촉을 위한 SMA 단자와 센서간의 거리가 다소 큰데 기인한 것으로 여겨진다. 통과대역에서 출력파형에 작은 리플등이 관찰되었다. 이는 센서의 제작공정에서 전극의 선폭 및 갭등의 불균일한 에칭 때문에 발생한 것이다. 그림의 표면탄성파 소자는 가스 센서의 용도로 제작된 것이므로 다소 높은 삽입손실이나 리플이 센서의 동작에는 크게 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

그림 3은 제작된 SAW 센서의 온도에 따라 측정된 출력단의 위상변화를 보여주고 있다. 측정 시 센서가 위치한 챔버에는 분당 40 cc의 유량으로 질소를 흘려

주었다.

그림에서 보는 바와 같이 출력단의 위상 변화는 온도에 매우 민감하게 변화하였다. 그림으로부터 온도 1°C 변화에 따라 위상은 -2.06도 이동하는 것을 알 수 있다. 따라서 분석하고자 하는 가스의 열전도도, 열용량 등의 열적 특성으로부터도 출력단의 위상이 변화될 수 있는 가능성 또한 배제할 수 없다. 이를 확인하기 위해 본 측정시스템에서 질소의 유량을 40 sccm에서 100 sccm으로 변화시켰을 때 출력단에서의 위상 변화는 관찰되지 않았다. 이는 측정 챔버로 유입되는 가스의 온도 및 유량에 따라 SAW 센서의 온도 변화가 유발되고 있지 않음을 말해 주고 있다. 즉, 입력되는 가스의 유량, 열용량 등에 의해 센서 표면의 온도변화가 유발될 수 있지만 센서의 자동 온도제어 기능으로 인하여 실제로 센서표면의 온도변화는 일어나지 않고 있음을 말해 주고 있다. 따라서 미량의 분석가스가 주입되었을 경우 유발되는 위상 변화는 센서의 온도 변화가 아닌 분석가스의 흡착에 의한 것이라 할 수 있다.

그림 4는 그림 1의 측정시스템에서 마이크로 주사기를 통하여 에탄올(C_2H_5OH)을 주입하였을 때 출력단에서의 위상변화를 시간에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 에탄올의 주입량에 비례하여 위상변화가 크게 나타났다. 반응시간(response time)은 두 가지 경우에 동일하게 10여초 정도로 이는 측정 시스템의 구조 및 이송가스의 유량에 따라 크게 영향을 받는 것으로 판단된다. 즉, 증발기로부터 증발된 분석 가스가

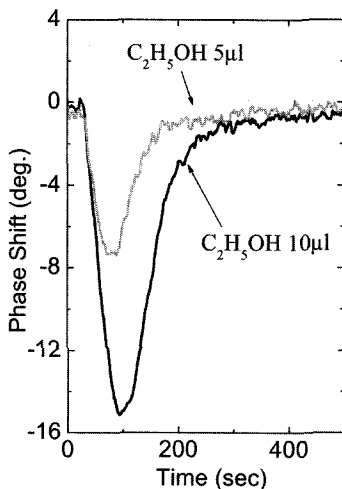


그림 4. 에탄올 주입량에 따른 SAW 센서의 시간에 따른 위상변화
Fig. 4. Measured phase shifts of the SAW signal as a functions of time for the amount of ethanol.

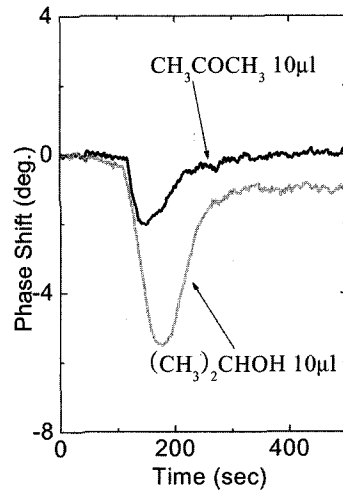


그림 5. 아세톤 및 이소프로필 알콜 주입량에 따른 출력단의 위상변화
Fig. 5. Measured response of the sensor to acetone and isopropyl alcohol.

이송가스에 혼입되어 센서가 부착된 챔버까지 도달하는데 걸리는 시간은 이송가스의 유량에 반비례 할 것이며 가스라인이 차지하는 부피를 작게 함으로써 반응 시간을 짧게 할 수 있을 것으로 판단된다.

그림 5는 아세톤(CH_3COCH_3) 및 이소프로필 알콜 (IPA; $(CH_3)_2CHOH$)을 각각 10 ml 증발기를 통하여 주입하였을 때 SAW 센서 출력단에서의 위상변화를 보여주고 있다. 그림 4와 유사한 형태의 위상변화를 보이고 있었으나 위상변화 정도는 주입하는 물질에 따라 서로 다른 값을 나타내었음을 알 수 있다. 본 연구에서 사용한 세 가지 물질을 각각 10 ml 주입하였을 때 센서의 출력단에서 최대 위상변화 값은 에탄올, IPA, 아세톤에서 각각 14°, 5.3°, 2°의 변화를 보여 에탄올의 경우 가장 감도가 좋게 나타났다. 세 물질의 비중은 모두 0.79로 동일하며 분자량은 에탄올, 아세톤, IPA 순으로 큰 값을 갖는다. 따라서 주입되는 분석 물질의 부피 분율에 비례하여 감도가 크게 나타났다고 여겨지는 않으며 분석물질과 LN 기판간의 흡착 정도에 기인한 결과로 여겨진다.

4. 결 론

본 연구에서는 기존의 표면탄성과 센서 즉, 가스 흡착에 따른 중심주파수 이동을 감지하는 것과는 달리 출력단의 위상변화를 관찰함으로써 분석 가스의 흡착 유무를 감지하는 센서를 제작 하였다. 이러한 방식은

감도면에서 우수한 특성을 보였으며, 센서 내에 특정물질을 선택적으로 인식하고자 하는 흡착물질을 코팅하지 않았으므로 궁극적으로 센서의 aging 등의 문제가 발생할 가능성이 없다. 또한 분석 가스에 따라 서로 다른 위상변화 패턴을 보임으로 소형화 및 어레이를 구성하여 특정 가스의 존재나 그 양을 검지·정량할 수 있는 고성능의 복합가스 측정 시스템의 제작에 사용될 수 있을 것으로 여겨진다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 핵심기술 연구개발 사업으로 지원되었으며 이에 감사를 드립니다.

참고 문헌

- [1] S. Bender, F. L. Dickert, W. Mokwa, and P. Pachatz "Investigation on temperature controlled monolithic integrated surface acoustic wave gas sensors", *Sensors and actuators B*, vol. 93, pp. 164-168, 2003.
- [2] Y. J. Lee, H. B. Kim, Y. R. Roh, H. M. Cho, and S. Baik, "Development of a SAW gas sensor for monitoring SO₂ gas", *Sensors and actuators A*, vol. 64, pp. 173-178, 1998.
- [3] R. Andrew McGill, Douglas B. Chrisey *et al.*, "Performance of optimization of surface acoustic wave chemical sensors", *IEEE International Frequency Control Symposium*, pp. 140-146, 1997.
- [4] 이찬우, 노용래, 정종식, 백성기, "SO_x 가스감지용 SAW 가스 센서 개발", *센서학회지*, 제5권, 제3호, pp. 41-48, 1996.
- [5] 전춘배, 박효덕, 최동한, 이덕동, "SAW 가스센서의 제작 및 특성", *센서학회지*, 제3권, 제1호, pp. 40-45, 1994.
- [6] F. Bender, N. Barie, G. Romoudis, A. Voigt, and M. Rapp, "Development of a preconcentration unit for a SAW sensor micro array and its use for indoor air quality monitoring", *Sensors and actuators B*, vol. 93, pp. 135-141, 2003.
- [1] S. Bender, F. L. Dickert, W. Mokwa, and P. Pachatz "Investigation on temperature controlled monolithic integrated surface acoustic wave gas sensors", *Sen-*



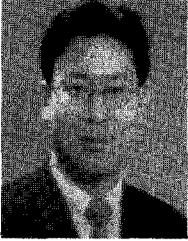
김진상

- 1986년 서울대학교 공과대학 무기재료공학과 졸업(학사)
- 1988년 서울대학교 공과대학원 무기재료공학과 졸업(석사)
- 1997년 서울대학교 공과대학원 재료공학과 졸업(박사)
- 1998 ~ 1999년 일본 이화학연구소 반도체공학연구소 객원연구원
- 현재 한국과학기술 연구원 박막재료연구센터 선임연구원
- 주관심 분야 : II-VI 화합물 반도체, 에피박막 성장, 적외선 센서, 가스센서, 열전재료



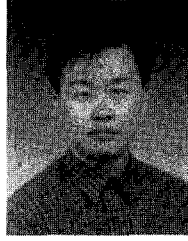
정용철

- 2003년 순천대학교 공과대학 재료공학과 졸업(학사)
- 2003년 ~ 현재 한양대학교 공과대학원 세라믹공학과 석사과정, 한국과학기술 연구원 박막재료연구센터 학생연구원
- 주관심 분야 : II-VI 화합물 반도체, 에피박막 성장, 적외선 센서, 가스센서



강 종 윤

- 1993년 연세대학교 공과대학 전기공학과 졸업(학사)
- 1995년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사)
- 2000년 연세대학교 대학원 전기컴퓨터공학과 졸업(박사)
- 2002 ~ 2004년 영국 University of Birmingham, EDT group, Post-doc.
- 현재 한국과학기술연구원 박막재료연구센터 선임연구원
- 주관심 분야 : 압전 액츄에이터, 마이크로파 소자, 마이크로파 강유전체, 가스센서



김 달 영

- 1991년 서울대학교 자연과학대학 물리학과 졸업(이학사)
- 1993년 서울대학교 대학원 물리학과 졸업(이학석사)
- 1998년 서울대학교 대학원 물리학과 졸업(이학박사)
- 1998 ~ 1999년 영국 Oxford 대학교 물리학과 postdoc
- 1999 ~ 2000년 LG전자기술원 소자재료연구소 선임연구원
- 2000 ~ 2002년 서울대학교 재료공학부 연수연구원
- 현재 한국과학기술연구원 박막재료연구센터 선임연구원
- 주관심 분야 : 강유전체, 전기광학세라믹 재료, 압전체, 메모리소자, 복굴절



남 창 우

- 1984년 연세대학교 공과대학 전기공학과 졸업(학사)
- 1989년 University of Florida 전기공학과 졸업(석사)
- 1994년 Pennsylvania State Univ. 전기공학과 졸업(박사)
- 현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수
- 주관심 분야 : SAW 필터, 반도체공정, 가스센서



윤 석 진

- 1983년 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)
- 1985년 연세대학교 전기공학과 졸업(공학석사)
- 1992년 연세대학교 전기공학과 졸업(공학박사)
- 1992년 ~ 현재 한국과학기술연구원 책임연구원
- 2001년 ~ 현재 한국과학기술연구원 박막재료연구센터 센터장
- 주관심 분야 : 액츄에이터, 고주파유전체