WO_3 박막을 이용한 SAW 가스 센서

SAW Gas Sensor using WO_3 Thin Film

정영우*, 허두오, 이해민, 안형근, 한득영
건국대학교 전기공학과

Young-Woo Jeong*, Doo-Oh Hur, Hae-Min Lee,
Hyungkeun Ahn, Deuk-Young Han
Dept. of Electrical Eng. Kon-kuk Univ.

ABSTRACT

A Surface Acoustic Wave Gas sensor for NO, CO, H_2 gas detection was designed, fabricated, and tested. A delay line device was designed to composite a single mode SAW oscillator which enables to measure a SAW velocity. To reduce the effect of temperature and humidity, dual delay line oscillator circuit was used. And final output was measured by digital frequency counter.

NO, CO, H_2 gas were detected by WO_3 thin film deposited on the path of the Delay Line.

1. 서론

SAW 센서는 소형, 경량이며, 견고하고 높은 재현성과 낮은 전력소모의 장점이 있다. 이기에 점점 더 커지는 환경오염의 문제와 공정제어, 임상진단 등의 필요에 의해 SAW 가스 센서의 연구가 활발하며, 실용화 단계에 이르고 있다.[7]

SAW는 모든 에너지가 표면에서 약 1~1.5 파장 내에 모여있기 때문에[1] 표면의 변화에 매우 민감하며 따라서 SAW 디바이스 표면 위에 감지막을 형성시킬 때, 가스와 감지막이 반응하여 감지막의 질량과 기계적 특성 또는 전기 전도도가 변화한다. 그리고 이 변화에 의한 SAW의 속도 변화를 검출함으로써 센서로 이용한다. 본 논문에서는 Dual Delay Line Oscillator구조를 사용하여 습도, 온도와 같은 외부환경의 영향을 제외시킬 수 있게 하였으며, 특히 한 주파수에서만 발진을 일으키는 단일 모드 발진기를 사용함으로써 회로의 구성과 검출이 용이하게 하였다.

설계한 Delay Line의 중심 주파수는 49.95 MHz로 하고, 128° X rotated $LiNbO_3$기판 위에 3000Å Al 전극을 사용하였다.

2. SAW 단일 모드 발진기

중심 주파수 49.95 MHz, aperture $40.5\lambda_0$인 지연선을 제작하였다. 입력 IDT의 전극쌍은 40 쌍, 출력 IDT의 전극쌍은 15 쌍으로 하였다. 이 때의 Delay Line 전체의 주파수 응답에 대한 시뮬레이션은 다음과 같다.[2]

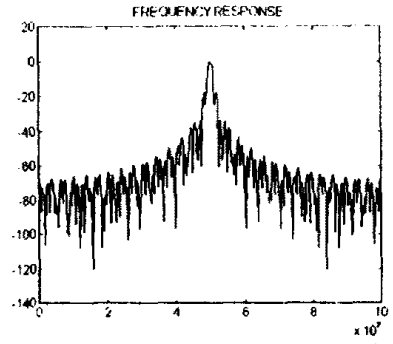

그림 1. Delay Line의 주파수 응답 Simulation

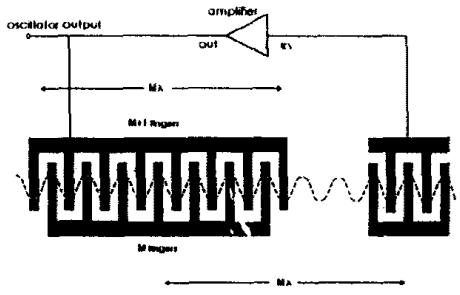

그림 2. SAW 단일 모드 발진기의 구조

발진주파수에서 피이드백 루우프의 총 위상추이는 2π의 정수배가 되어야 한다. 여러 주파수가 이 조건을 만족시킬 수 있기 때문에 여러 모드로 동작이 가능하다. 그러나 센서로 사용할 때 하나의 주파수성분 만이 발진을 일으키기를 원하므로 단일 모드 발진기가 바람직하다.

SAW Delay Line에서 한 IDT가 delay path의 유효길이와 같이 설계되면, 한 발진 모드 주파수와 Delay Line의 동기 주파수가 같게 된다. 그리고 다른 공진모드 주파수들은 Delay Line 주파수 특성에 의해 0이 된다. [3]

3. SAW 가스 센서의 구성 및 제작

ST Quartz의 경우 압전 결합계수는 매우 작지만, 온도에 의한 Rayleigh 파의 속도변화가 거의 없다. 반면 $LiNbO_3$나 $LiTaO_3$와 같이 압전 계수가 큰 기판은 온도에 의한 SAW의 속도변화가 매우 크다.(8800 Hz/℃)[7] 따라서 $LiNbO_3$를 사용한 본 논문에서는 이러한 영향을 극복하기 위해 그림 3과 같이 sensing용 발진기와 reference 발진기를 사용하는 Dual Delay Line 발진기 구조를 사용하였다.

단일 모드 발진기 구조를 사용할 때 발진 주파수가 하나이고 주변회로의 구성이 용이한 장점이 있으나, 감지막의 면적이 작아지는 단점이 있다.

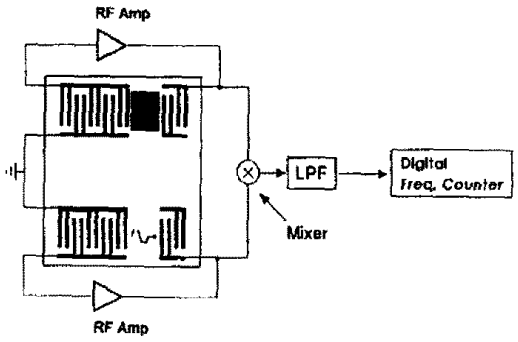

그림 3. SAW 가스 센서의 구성

그림 3과 같이 동일한 구조의 SAW 발진기에 한쪽 Delay Line path에는 감지막을 입히고 다른 하나는 그대로 두어 reference 발진기와 sensing 발진기를 구성하였다. 가스 chamber 안에서 가스 주입시 sensing 발진기에서만 반응이 일어나고 주파수가 이동하여 그 차이가 mixer를 통하여 저주파(수십 kHz) 신호로 나오며 디지털 주파수 계수기를 이용하여 측정하였다. 이때 LPF를 통해 잡음성분을 제거하였다.

이러한 Dual Delay Line 구조를 사용하였을 때의 장점은 두 소자가 같은 주위 환경내에 있으므로 온도, 압력등의 섭동에 의한 주파수 이동을 보상해 줄 수 있다.

실험에 사용한 기판은 Sumitomo 社의 제품으로, 두께가 0.5 mm, 직경이 3 in이고, 뒷면은 polishing된 SAW 디바이스용 wafer이다.

본 논문의 실험에서는 Al을 Sputtering 방법으로 3000Å의 두께로 증착하였고, 선폭이 10 μm인 Double electrode로 제작하였다.

본 논문에서는 전극 pad의 크기가 크므로 간단히, silver paste를 사용하여 외부회로와 SAW 디바이스를 연결하였고, 감지막의 증착은 0.1 mm 두께의 stainless shadow mask를 사용하여 2×10^{-5} Torr의 진공도에서 target을 선택적으로 진공 증착시켰다. WO_3 감지막을 5000Å과 10000Å의 두가지로 22Å/sec의 증착비로서 증착시켰다.

이렇게 증착에 의해 형성된 WO_3 박막은 비정질구조이므로, 다결정구조로 만들기 위해 열처리를 하였다.

4. 실험 및 결과

4.1 SAW 디바이스의 주파수 응답

Network Analyzer 5411A로 측정한 Delay Line의 주파수 스펙트럼은 다음과 같았고, Double electrode를 사용하므로 시뮬레이션과 근사한 결과가 나왔다.

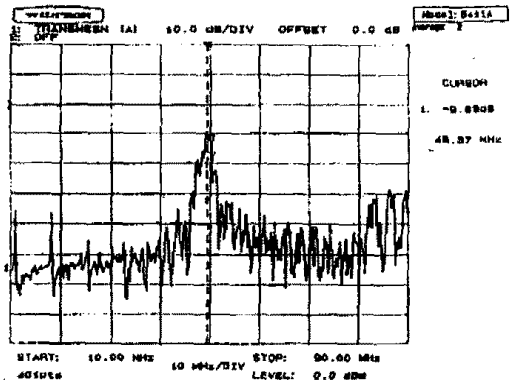

그림 4. Delay Line의 주파수 응답

통과대역에서의 ripple은 SAW 디바이스의 전형적인 특징인 Triple Transit Echo(TTE)의 영향[2]이며, 마스크 제작상의 부정확으로 인한 입·출력 IDT의 중심 주파수의 불일치가 생겼다. 그러나 발진기의 궤환 요소로 사용할 때 아무 문제가 없었다.

다른 회로 구성 요소와의 전력전달 효율이 문제가 되므로 Network Analyzer (HP 8720C)로 Smith Chart를 측정하였다.

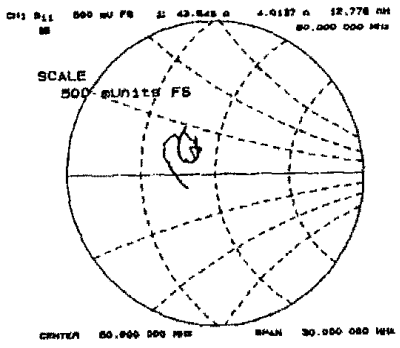

그림 5. Delay Line의 Smith Chart

이 chart는 직렬 인덕터를 이용한 정합을 하지 않은 소자 자체의 응답이다. 중심 주파수에서 전체 임피던스는 43.543Ω으로 전력전달의 측면에서 큰 무리가 없었다.

4.2 발진기의 응답

그림 3과 같은 구조로 발진기를 구성하였을 때의 파형이 그림 6이다.

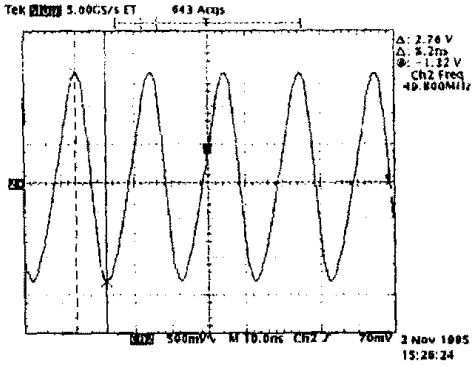

그림 6. 발진기의 시간 파형

Tektronix사의 TDS 524A Digitizing Oscilloscope를 이용하여 측정하였으며, 주기가 약 8.8 ns였다. 이 시간 파형을 FFT 처리하여 주파수 성분을 측정하였다.

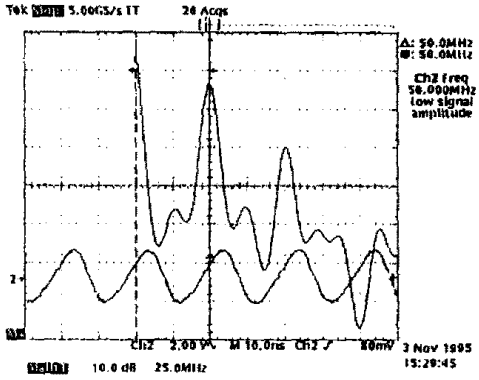

그림 7. 발진기의 주파수 spectrum

4.3 가스 검출 실험

감지막이 존재하므로 reference용 발진기와 senssing용 발진기 간에 기본적으로 수십 kHz의 발진 주파수의 차이를 보이는데, 감지막이 가스와 반응함에 따라 두 주파수의 차이가 변하였다.

WO_3 감지막은 200℃에서 가장 잘 반응하는 것으로 알려져 있어[8] 센서를 이 온도에서 동작시키기 위하여 알루미나 세라믹 판 윗면에는 SAW 디바이스를 부착하고 뒷면에는 thick film resistor를 부착한 후 DC전압을 인가하여 온도를 상승시키고, thermocouple을 이용하여 SAW 센서의 동작온도를 측정하였다.

WO_3는 NO_2, NO, SO_2, CH_4, CO 등의 가스에 감도를 보이는데[8] 본 논문에서는 그 중 유독성 가스인 NO, CO 가스와 폭발성 가스인 H_2에 대한 감도에 대하여 실험하였다.

5. 결 론

Delay Line을 설계, 제작하였고, 고주파 증폭기와 연결하여 발진기를 구성하여 기준 발진기와 감지막을 입힌 발진기의 주파수 차이를 이용하여 가스의 흡착을 실험하였다. 기판으로 128° X rotated $LiNbO_3$를 사용하였고 감지막으로 WO_3를 사용하였다.

H_2, CO, NO 에 대한 감도 실험 결과, 어느것이나 가스량이 증가하면 중심 주파수의 변화가 커짐을 알 수 있었다. 향후 SAW 센서의 실용화로서 센서의 package화와 베일 구조를 이용한 패턴 인식알고리즘으로 지적인 센서의 연구가 기대된다.

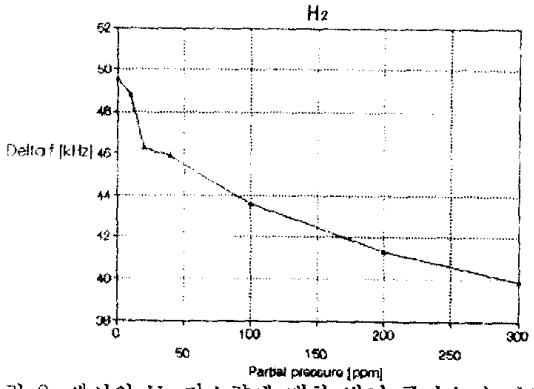

그림 8. 센서의 H_2 가스량에 대한 발진 주파수의 변화

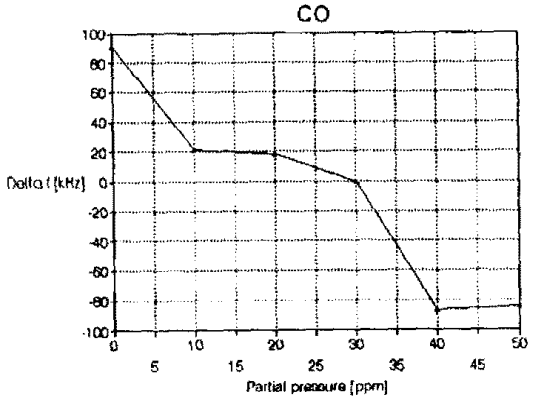

그림 9. 센서의 CO 가스량에 대한 중심 주파수 변화

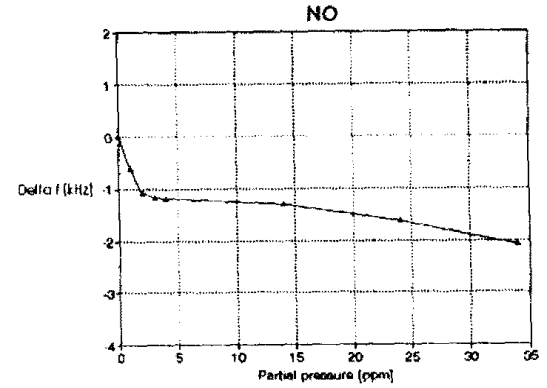

그림 10. 센서의 NO 가스량에 대한 중심 주파수 변화

참고 문헌

[1] R. M. White and F. W. Voltmer, "Direct Piezoelectric Coupling to Surface Elastic Waves", Appl. Phys. Lett. 7, pp. 314-316, 1965.

[2] S. Datta, "Surface Acoustic Wave Devices", Prentice-Hall, Eglewood Cliffs, NJ 07632, 1986.

[3] J. Crabb, M. F. Lewis, J. D. Maines, "Surface-Acoustic- Wave Oscillators:Mode Selection and Frequency Modulation", Electronics Letters, 17th May, vol.9 No.10, 1973.

[4] B. A. Auld, "Acoustic fields and waves in solids", Vol. 2, John Wiley & Sons, New York, p. 278, 1973.

[5] H. Wohltjen, "Mechanism of operation and design considerations for surface acoustic wave device vapour sensors", Sensors and Actuators, 5, pp. 307-325, 1984.

[6] H. Wohltjen, "Trace Chemical Vapor Detection Using SAW Delay Line Oscillators", IEEE Trans. on UFFC., Vol. UFFC-34, No. 2, March, 1987.

[7] Antonio J. Ricco, "SAW Chemical Sensors-An expanding role with global impact", The Electrochemical Society Interface, Winter, pp. 38-44, 1994.

[8] R. S. Falconer, "A Theoretical and Experimental Study of a Conductivity Based Surface Acoustic Wave Gas Microsensor", Ph.D. Univ. of Maine, 1993.