

무선 SAW 센서용 소형 태그 안테나 설계

°우인상¹, Nguyen Khang¹, 이기근¹, 추호성², 박익모¹, 양상식¹

¹아주대학교 전자공학부

²홍익대학교 전자전기공학부

E-mail : ipark@ajou.ac.kr

Design of Small Tag Antenna for SAW Sensor

° Insang Woo¹, Nguyen Khang¹, Keekeun Lee¹, Hosung Choo²,

Ikmo Park¹, and Sangsik Yang¹

¹School of Electrical and Computer Engineering, Ajou University

²School of Electronics and Electrical Engineering, Hongik University

Abstract

This paper presents the design of small tag antenna for SAW sensor. The structure of the antenna is a dipole with both ends is folded inwardly. A small slit near the input port is realized in order to effectively connect the antenna with a sensor chip. The size of the antenna is 14 mm x 13 mm and operates at 2.45 GHz. The effect of various design parameters on the antenna characteristics is investigated by considering the impedance matching between the antenna and SAW chip.

Key words: Tag antenna, RFID, SAW sensor, MEMS

I. 서론

Surface Acoustic Wave (SAW) 센서는 표면파(surface acoustic wave)의 특성이 잘 나타나는 압전체와 해당 물질의 고유한 센싱 특성에 기술 기반을 두고 있는 계측 소자이다. 현재까지 많은 연구를 통하여 열, 압력, 전기, 가스 등의 다양한 물리량이나 화학량을 측정 또는 검출할 수 있는 센서들이 개발되었다 [1]. 이처럼 SAW 센서에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있는 이유는, 다른 센서 메커니즘과는 달리 inter-digital transducer (IDT) 전극 구조를 통하여 주파수 형태의 출력신호인 표면파를 효율적으로 발생하고 검출할 수 있다는 데 있다 [2]. 이러한 SAW 센서는 최근 들어 RFID 기술과 결합되어 유비쿼터스 환경을 구축하는데 많이 사용되고 있다. 특히 배선의 연결 자체가 불가능한

측정 환경 및 이동성이 크게 요구되는 경우, 무선시스템의 도입은 불가피해진다 [3]. 물론 RFID 기술의 관건은 센서 칩의 인식정보를 안테나를 통하여 효과적으로 전달하는데 있다. 태그의 인식율은 안테나의 구조에 따라 인식 가능한 방향과 거리, 그리고 근접한 물질에 의해 받는 영향 등에 따라 달라진다. 특히 역산란 (back scattering) 방식을 취하는 수동형 (passive) 태그에서는 동작에 필요한 에너지를 전적으로 리더 안테나로부터 나오는 에너지에 의존하므로, 태그 안테나의 높은 복사효율 및 안테나와 센서 칩과의 임피던스 정합을 크게 요구하고 있다 [4, 5]. 하지만, 위와 같은 기술적인 당면 과제가 있음에도 불구하고 SAW 소자는 RFID 태그소자로 사용하는데 몇 가지 장점을 갖고 있다. 우선, 수동형 태그이며 별도의 에너지 축적회로가 필요 없는 구조로서 단순하고 저렴하다.

다음으로 일반적인 태그에 비해 긴 인식 거리와 신속한 응답 속도를 가지고 있다 [6]. 이러한 장점으로 인하여 SAW 센서와 RFID 기술의 접목은 충분한 시장 경쟁력을 가질 수 있다.

본 논문에서는 압력계측용 SAW 센서에 쉽게 부착할 수 있고 ISM 대역인 2.45 GHz 에서 동작하는 소형 태그 안테나를 설계하였다. 먼저 소형 태그 안테나는 EM 시뮬레이터인 IE3D 를 이용하여 설계 변수에 따른 안테나 특성을 조사한 후 제작하여 측정했으며, SAW 기반의 센서 칩은 MEMS 기술을 이용하여 제작한 뒤 측정하였다.

II. 안테나 구조

그림 1 은 제안한 안테나 구조를 보여주고 있다. 그림 1(a)에서의 금속 패턴이 보여 주듯이 안쪽으로 감겨진 좌우 대칭의 반파장 다이폴 안테나이고, 기판은 유전율이 3.38 이고 두께가 0.2032 mm 인 RO4003 을 사용하였다. 다이폴 형태를 기본 구조로서 하는 태그 안테나에 대해서는 많은 연구가 이뤄졌다 [6-8]. 그러나 본 논문에서 제안하고자 하는 안테나의 구조적 특징은 물리적 크기를 줄이기 위해 다이폴의 양단을 중앙으로 감아 올린 점과 입력단에 사각 결함을 위치시켜 SAW 센서와의 결합 시 임피던스 정합이 용이하도록 설정한 점이다. 안테나에 사용된 설계변수 및 수치는 표 1 에 나타나 있다.

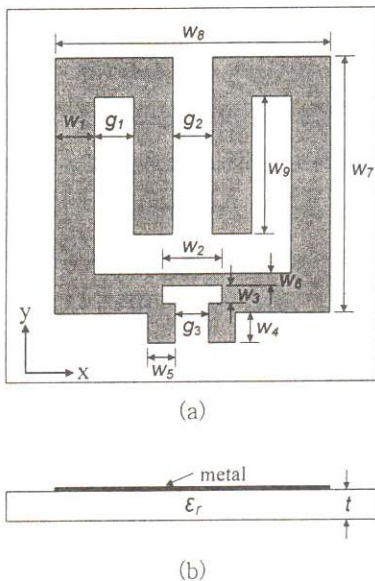


그림 1. 안테나 구조: (a) 정면도, (b) 측면도.

표 1. 안테나 설계변수

설계변수	길이
w_1	2 mm
w_2	1 mm
w_3	0.7 mm
w_4	1 mm
w_5	0.9 mm
w_6	1 mm
w_7	13 mm
w_8	14 mm
w_9	7 mm
g_1	2 mm
g_2	2 mm
g_3	0.5 mm
t	0.2032 mm
ϵ_r	3.38

III. 안테나 특성

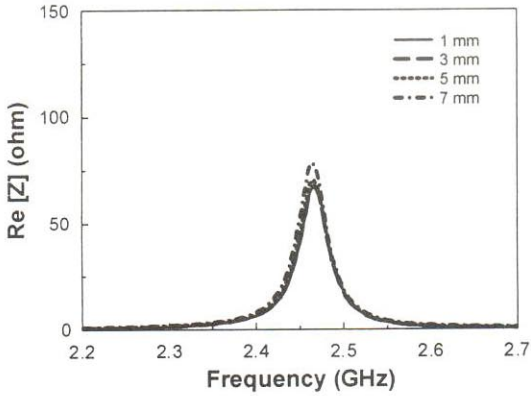
설계변수 조사를 통하여 안테나의 반사손실 및 임피던스 특성 등을 살펴보았다. 설계변수의 조절은 표 1 에 주어진 값들을 기준으로 이루어졌다. 먼저 안테나의 복사부에 해당하는 나선 패턴을 고정시킨 뒤, 센서와의 결합을 위해 돌출시킨 입력단의 길이 w_4 를 변화시켰다. w_4 를 1 mm 에서 7 mm 까지 2 mm 간격으로 증가시켜 본 결과, 임피던스 특성의 경우 그림 2(a)와 2(b)처럼 리지스턴스의 변화는 거의 없고 인덕턴스 성분만이 일정하게 증가하고 있다. 이는 coplanar strip (CPS) 형태로 주어진 급전 선로 길이의 증가로 인한 것이며, 이와 같은 특성은 높은 캐패시턴스 성분을 갖는 태그 칩과의 임피던스 공역 정합 시 이용될 수 있다.

안테나 양단의 간격 g_2 에 따른 변화를 살펴보고자, g_2 를 0.25 mm 부터 두 배씩 늘어나가 2 mm 까지 증가시켜 보았다. 동시에 안테나의 전체 선로길이와 g_1 을 일정하게 유지시키고자 w_8 와 w_9 을 변환된 수치만큼 각각 늘리고 줄였다. 반사손실의 경우 그림 3 과 같이 간격이 좁아지면서 동작주파수가 급격히 낮아진다. 이와 같은

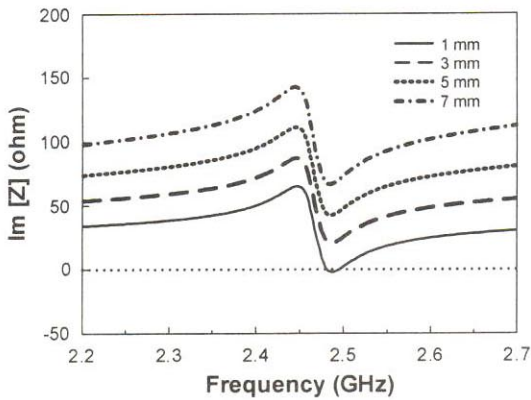
동작주파수의 하강은 마주하는 스트립 선로의 간격이 좁아짐에 따라 발생하는 기생 캐패시턴스에서 기인하는 것으로 사료된다. 이는 고정된 크기 내에서 내부구조의

설계변수 변경을 통해 동작주파수의 조절이 가능함을 보여주고 있다.

입력단의 선폭 w_5 을 0.4 mm 에서 1.9 mm 까지 0.5 mm 씩 증가시켜 보았다. 임피던스 특성인 그림 4(a)와 4(b) 같이 입력단의 선폭이 넓어짐에 따라 리지스턴스와 리액턴스의 값이 커지지만 동작주파수는 거의 일정하게 유지되고 있다. 또한 사각 결합의 가로길이 w_2 에 따른 안테나 특성을 살펴보고자 세로길이 w_3 을 고정시킨 채 w_2 를 1 mm 에서 4 mm 까지 1 mm 씩 증가시켜 보았다. 임피던스 특성의 경우 입력단의 선폭 변화 특성과 마찬가지로 리지스턴스와 리액턴스의 값이 커지지만 동작주파수는 거의 일정하게 유지되고 있다. w_3 을 변화시킬 때 그리고 결합의 위치를 y 축 방향으로 이동시킬 때도 유사한 변화를 볼 수 있었다. 이는 SAW 센서와 결합 시 동작주파수를 고정시킨 채 구조 내부의

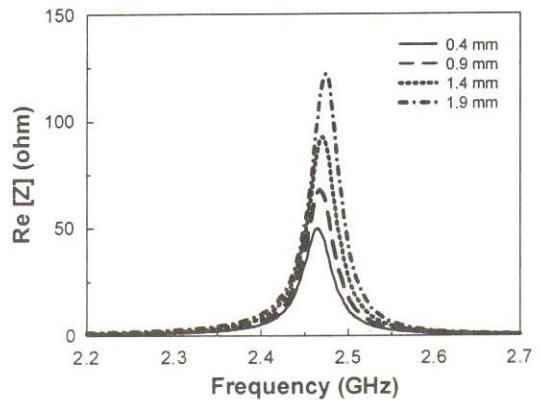


(a)

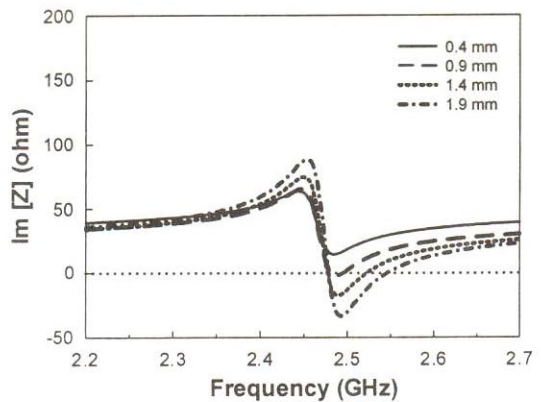


(b)

그림 2. 입력단의 길이에 따른 임피던스 특성 변화: (a) 리지스턴스, (b) 리액턴스.



(a)



(b)

그림 4. 입력단 선폭에 따른 임피던스 특성 변화: (a) 리지스턴스, (b) 리액턴스.

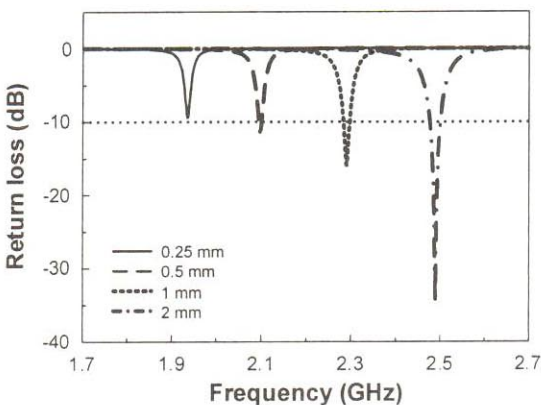


그림 3. 안테나 양단의 간격에 따른 반사손실 특성 변화.

사각 결함 크기 및 위치의 소진, 그리고 입력단의 선폭 변화를 통해 충분히 안테나와 SAW 소자간에 임피던스 정합을 잘 시킬 수 있음을 보여준다.

IV. 제작 및 측정

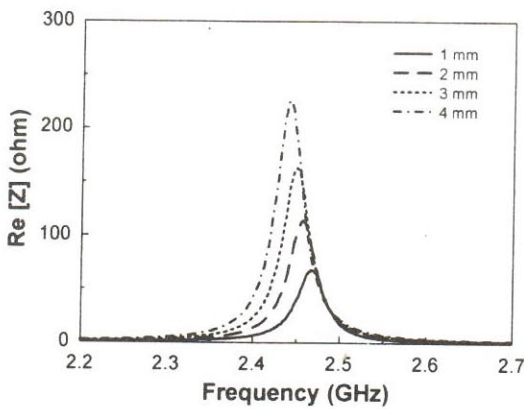
안테나는 RO4003 기판에 포토 리토그래픽 방법을 사용하여 그림 6과 같이 제작하였다. 에칭 과정에서 약간의 제작 오차가 발생하였으며, 제작된 안테나의 기판 크기는 전사모사에서 고려된 무한 기판 조건과는 달리 사각 금속 패턴 경계로부터 1 mm씩만 여유거리를 주었다. 계산된 반사손실 특성은 그림 7과 같이 2.48 GHz에서 26 MHz의 대역폭을 보이고 있으며, 동작주파수에서 75%의 효율을, 그리고 복사패턴은 반파장 다이폴 안테나와 유사하게 나타난다. 제작된 안테나는 SMA 커넥터에 연결시켰고, Agilent Technologies 의 E5071B Network Analyzer를

사용하여 측정한 결과, 2.49 GHz에서 32 MHz의 대역폭을 보였다. 측정값이 계산 값과 약간의 차이를 갖는 것은 에칭 과정에서의 약간의 제작 오차와 기판의 크기가 전사모사의 조건과 달라서 생긴 것으로 사료된다.

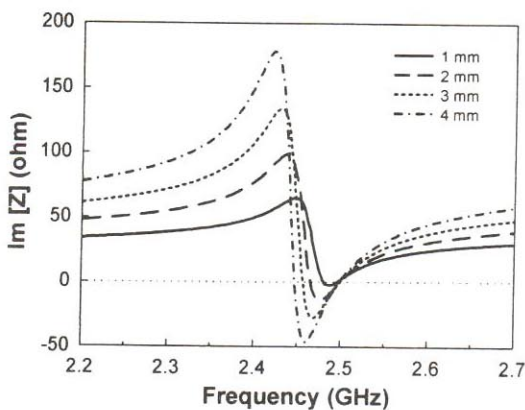
다음으로 SAW 센서는 Si 기판과 LiNbO₃ 기판에 MEMS기술과 e-beam 패터닝 기술을 이용하여 2 mm x 1.5 mm 의 크기로 제작하였다. 그림 8(a)는 제작된 SAW 센서의 IDT 구조와 반사판의 미세 패턴을, 그림 8(b)와 8(c)는 수직 단면도 및 전체구조를 보여주고 있다. 그림 9 은 SAW 센서의 반사신호 특성을 시 영역에서 측정한 것으로 계산 값과 거의 동일하게 나오고 있는 것을 확인할 수 있다.

V. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 무선 SAW 센서를 위한 평면형 소형 안테나를 설계하였으며, 다양한 설계변수 조사를 통하여 SAW 소자와 안테나의 임피던스 정합 조건을 발견할 수 있었다. 특히, 사각 결함의 위치 및 크기는 안테나와 SAW 센서의 정합을 매우 용이하게 해 주는 설계변수였다.



(a)



(b)

그림 5. 사각 결함의 가로 길이에 따른 임피던스 특성 변화: (a) 리지스턴스, (b) 리액턴스.

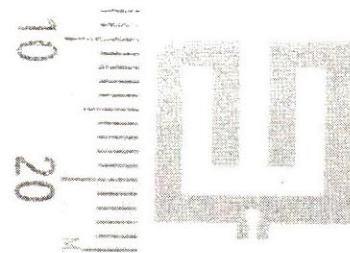


그림 6. 제작된 태그 안테나

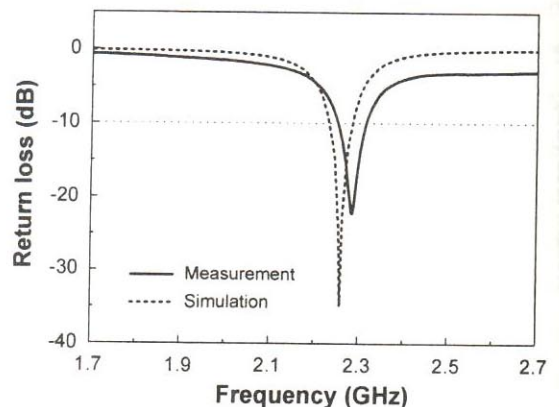


그림 7. 태그 안테나의 반사손실.

참고 문헌

[1] W. Buff, "SAW sensor system application," *IEEE Microwave Systems Conf. Proc.*, 7B-3, pp. 215-218, May 1995.

[2] W. R. Smith, H. M. Gerard., J. H. Collins, T. M. Reeder, and H. J. Shaw, "Analysis of interdigital surface wave transducers by use of an equivalent circuit model," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 17, no. 11, pp. 856-864, Nov. 1969.

[3] K. Finkenzeller, *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*, John Wiley & Sons, 2003.

[4] P. R. Foster and R. A. Burberry, "Antenna problems in RFID Systems," *IEE Colloquium on RFID Technology*, pp. 3/1-3/5, Oct. 1999.

[5] K. Chang, W. Lee, Y. J. Yoon, J. Kim, J. Park, and J. Burm, "Antenna design for SAW ID tag," *KJJC-AP/EMC/JEMT Proc.*, pp. 145-148, Kanazawa, Japan, Sept. 2006.

[6] 윤현철, 김재권, 박주용, 범진욱, "Passive RFID sensor tag," 한국전자파학회지 전자파기술, 16권, 3호, pp. 16-24, 2005년 7월.

[7] K. V. S. Rao, P. V. Nikitin, and S. F. Lam, "Antenna design for UHF RFID tags: A review and a practical application," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 53, no. 12, pp. 3870-3876, Dec. 2005.

[8] X. Qing and N. Yang, "A folded dipole antenna for RFID," *IEEE AP-S Int. Symp. Digest*, vol. 1, pp. 97-100, June 2004.

MEMS 기술로 SAW 센서를 제작하여 전송선로에 부착하여 측정한 결과 SAW 센서가 잘 동작하고 있음을 확인하였다. 그러나 현재 SAW 센서 칩에 대한 임피던스 특성 조사가 제대로 이루어지지 않아 두 소자간 정합은 이뤄지지 않은 상태이다. 향후 SAW 센서 칩의 임피던스 특성을 정확히 파악하여 안테나와 좋은 정합을 이루게 하여 무선 SAW 센서의 송수신 확인 및 인식거리를 측정할 예정이다.

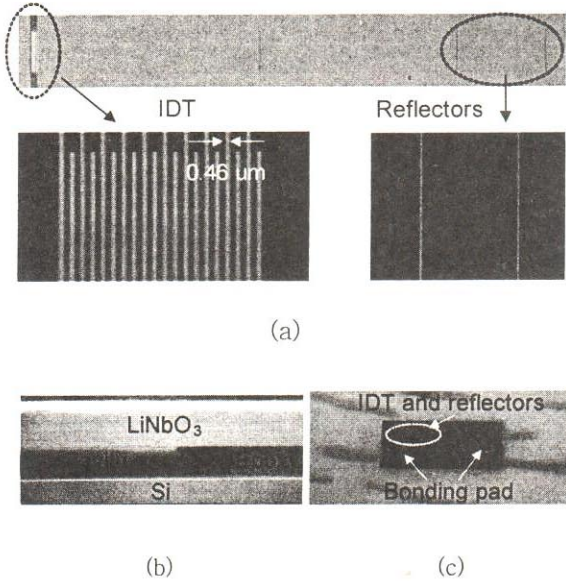


그림 8. MEMS 공정으로 제작된 SAW 센서: (a) IDT 및 반사판의 미세패턴, (b) 수직단면도, (c) 전체구조.

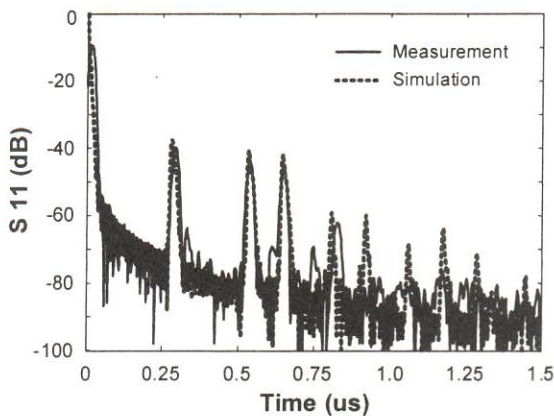


그림 9. 시 영역에서 본 SAW 센서의 반사신호.