



밀리미터파 MEMS 소자

김 옹 권
서울대학교 전기컴퓨터공학부
yongkim@chol.com

1. 무선 정보 교류의 확대

사회가 정보화 되어갈수록 정보의 교류는 매우 중요해진다. 이런 정보의 교류는 사람과 사람과의 정보만이 아니라 사람과 기기와의 정보교류도 늘어나고 있으며, 또한 유선보다는 무선에 의한 정보교류가 늘어나고 있다. Fig. 1과 같이 휴대전화와 가정의 전화, 사무실의 전화와 연결하여 각종 기기를 원격으로 동작시킬 수 있고 상태를 보고받을 수도 있다. 또한, 자동차 또는 상점의 기기와 연결할 수도 있다. 이처럼 앞으로의 정보 교류는 우리 주위의 모든 기기와 무선으로 이루어지고 이런 정보들의 교류로 보다 윤택한 생활이 될 것을 기대하고 있다. 이런 정보교류 환경을 만들기 위해서는 여러 시스템의 개발과 소프트웨어, 부품 소자들의 개발이 필수적이다. 그 중 효율이 좋고, 소형인 송수신기 (transceiver, transmitter와 receiver의 합성어)는 MEMS (micro-electromechanical systems) 기술에 의해서 개발이 가능

하고 이에 대한 연구가 진행되고 있다. 본 해설에서는 송수신 주파수와 응용에 대해서 언급하고, 간단한 무선 송수신 시스템을 설명한 후, MEMS 기술로 연구되고 있는 밀리미터파 MEMS 소자를 소개한다.

2. 사용 주파수 대역의 확대에 따른 밀리미터파 MEMS 소자의 대두

무선 통신은 개발이 시작된 이후 줄곧 기술의 총아로서 사회에 막대한 영향을 끼치면서 발전해왔다. Fig. 2를 보면 알 수 있듯이 1920년~40년대에 라디오 기술이 도입되었고, 1950~60년대에 텔레비전 기술이 도입되어 가정에 보급되었다. 1980년대 이후 휴대 전화 기술이 도입되면서 여러 응용이 가속화되고 2000년 이후에는 화상 및 동영상, 인터넷, 자동차 응용 등이 시작되었다.

이렇게 고도의 여러 가지 응용이 가능하게 된 것은 사용 주파수 대역을 꾸준히 넓혀온 기술의 발전 덕택이다. 라디오가 100 MHz 정도의 주파수 영역(파장으로는 100 m 영역)을, 텔레비전은 수 백 MHz~1 GHz 정도의 영역(파장으로는 수십 m 영역)을 사용하고 있다. 휴대 전화 등은 대개 1~2 GHz 대역을 사용하고 있고, 휴대 전화가 진화를 하면서 주파수 대역이 높아지고 있다. 주파수 대역이 10 GHz를 넘으면 파장은 수십 mm 정도가 되며 이를 밀리미터파라 할 수 있다. 이 주파수 대역에서의 응용이 차세대 WLAN (wireless local area network), LMDS (local multipoint distribution service), 자동차 레이더 등 향후 무선 통신의 새로운 응용으로서 주목을 받고 있다.

밀리미터파 MEMS (또는 RF (radio frequency)

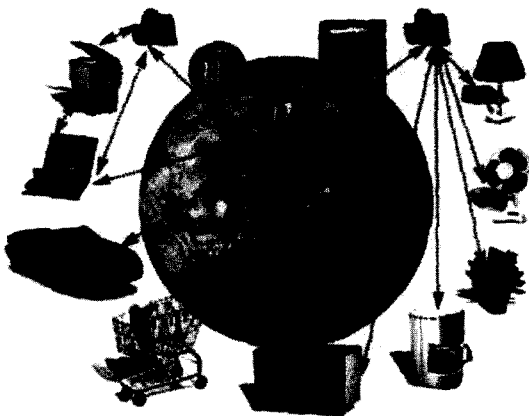


Fig. 1. 유비쿼터스 (ubiquitous) 환경의 예.

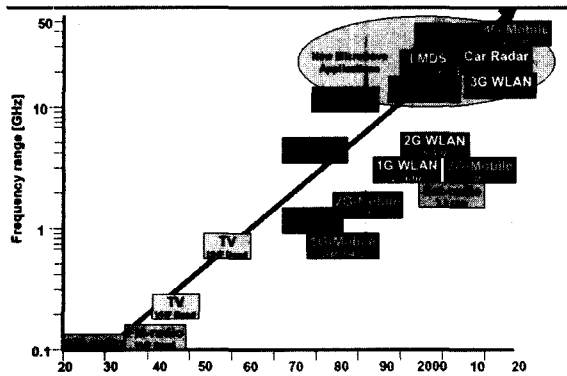
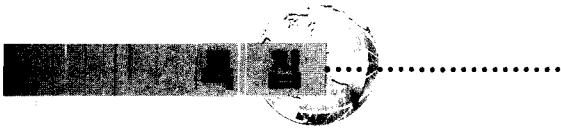


Fig. 2. 시대 순으로 본 주파수 대역의 증가와 응용의 발전추세.

MEMS)는 사용 주파수가 높아지는 추세와 사용 기기의 소형화 및 사용 전력의 저감에 따라서 이를 해결할 수 있는 기술로서 각광을 받고 있다. 밀리미터파 MEMS 소자를 이용하면, 현재의 고체상태 회로소자 (solid state circuit devices)보다 전력 효율을 올릴 수 있고, off chip 소자 (inductors, capacitors, switches 등)들을 집적화 할 수 있고, 일괄제작공정으로 제작되므로 저가화를 꾀할 수 있다.

3. 무선 송신기 및 수신기의 개요

무선 송신기는 Fig. 3과 같이 다섯 종류의 부품으로 구성되어있다.¹⁾ 전기 신호를 증폭기를 거쳐 증폭을 하고 합성기와 공진발생기를 이용하여 변조 (modulation)한 후, 여파기를 통하여 발신 신호주파수를 거르고 전력 증폭기 (HPA, high power amplifier)를 이용하여 전력을 증강하고 안테나를 통하여 공중으로 전파를 방사한다.

무선 수신기는 Fig. 4와 같이 역시 다섯 종류의 부품으로 구성되어있다. 공중에 방사된 전파를 안테나가 받아 들어 전기적인 신호로 바뀐다. 이 신호는 저 잡음 증폭기 (LNA, low noise amplifier)를 거쳐 신호가 증폭이 되고 여파기를 거쳐 신호 주파수를 걸러낸다. 그 후, 합성기와 공진발생기를 이용하여 복조 (demodulation, 반송파를 제거)하고 여파기를 거치고 증폭하여 원하는 전기 신호를 받게 된다.

송수신기에 사용하는 주요 부품에는 안테나 (antennas), 증폭기 (amplifiers), 여파기 (filters), 합성기 (mixers), 공진발생기 (sources 또는 oscillators), 스위치 (switches), 감

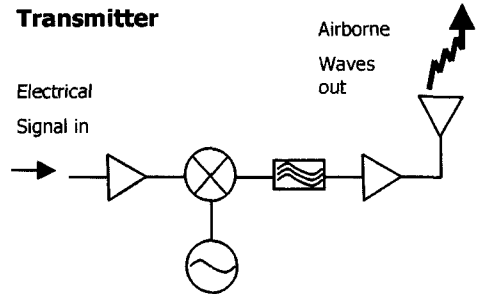


Fig. 3. 송신기의 블록도

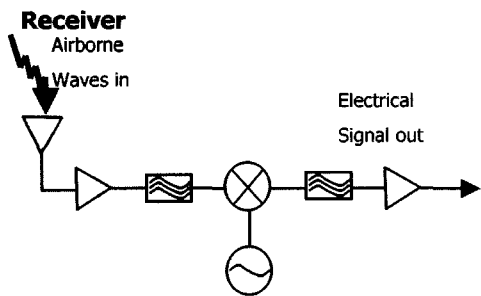


Fig. 4. 수신기의 블록도

쇠기 (attenuators), 위상천이기 (phase shifters), 신호전송선 (transmission lines) 등이 있고, 소자의 성격에 따라 능동소자(active devices, 증폭기 등)와 수동소자(passive devices, 안테나, 스위치 등)로 나뉘기도 한다. 밀리미터파 MEMS 소자는 주로 수동소자를 개발하는 연구에 집중되고 있다.

4. 밀리미터파 MEMS 소자의 연구 현황

신호전송선

주파수가 높아지면 신호를 전송하는 선에서 발생하는 손실이 커져서 잡음과 신호를 구분하지 못할 수도 있다. 신호는 신호전송선과 접지선 사이의 공간으로 전달이 되는데, 기판을 통하여 신호가 전달되면 이런 손실이 크게 된다.

Fig. 5와 같이 MEMS 기술로 신호전송선을 기판으로부터 부양시켜 신호가 전달되는 부분인 신호전송선과 접지선 사이의 공간을 공기(진공과 같은 전기적인 계수를 가짐)로 하면 손실이 줄게 된다. 50 GHz에서 10 mm 당 신호전송 손실이 -1.25 dB 이어서 기존 신호전송 손

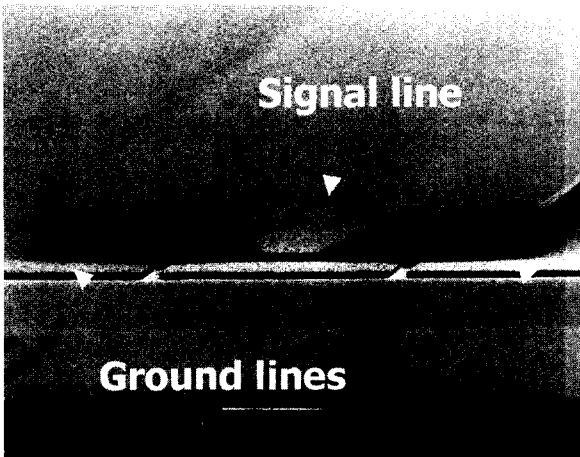


Fig. 5. 50 GHz에서 동작하는 신호 전송선.

실의 47 % 수준이었다.²⁾

스위치

스위치는 신호를 전달하거나 차단하는 소자로서 구동 전압(또는 전력), 삽입 손실, 신호 격리도, 전달(차단) 가능 전력, 동작 신뢰도 등이 주요 사양이다. 주파수가 높아지면 기존의 고체상태 회로소자 스위치는 삽입 손실이 커지고 신호 격리도가 나빠지게 되어서 사용할 수 없게 된다. 이에 비하여 MEMS 스위치는 이런 성능이 좋아지는 장점이 있다.

Fig. 6은 정전력에 의해 구동되며 단결정실리콘으로 제작된 MEMS 스위치이다. 19 V에서 구동되며 2 GHz에서 삽입손실은 -0.18 dB, 격리도는 -38.8 dB, 1.3W의 신호 전력까지 전달 또는 차단이 가능하고, 100만 회 이

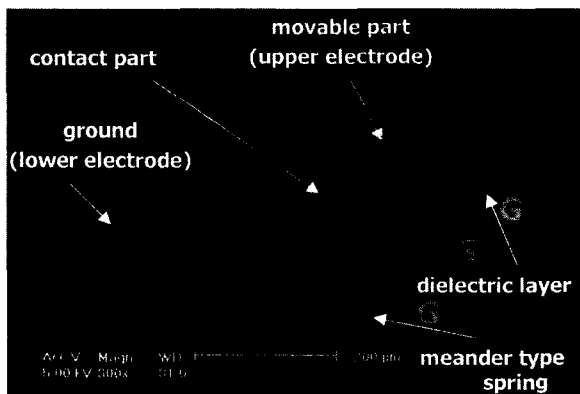


Fig. 6. 단결정실리콘 MEMS 스위치.

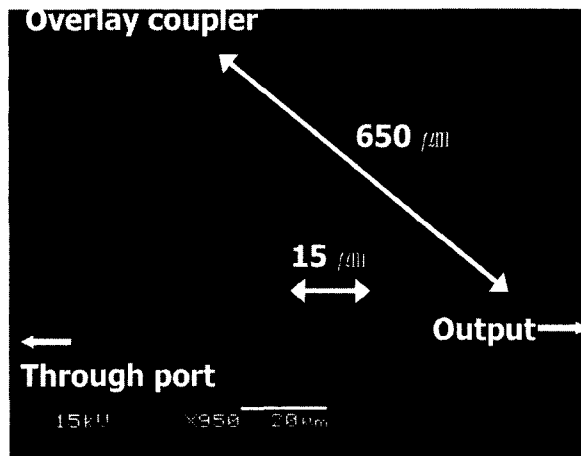


Fig. 7. 제작된 위상천이기의 결합부 사진.

상의 구동 신뢰도를 확인하였다.³⁾

위상천이기

위상천이기는 신호의 위상을 천이시키는 소자이다. 즉, 신호를 시간적으로 지연시키는 역할을 수행한다. 여러 개의 위상천이기에 같은 신호를 들여보내고 각각의 위상천이기에서 지연시키는 위상(시간)을 달리하면 다른 위상을 가진 신호가 나오게 된다. 이 신호를 각각의 위상천이기 뒤에 장착한 안테나들을 통하여 공중에 방사한다. 각각의 안테나에서 방사된 전파는 시간적으로 다르게 방사되므로 정면 방향으로 방사되지 않고 특정한 옆 방향으로 방사된다. 이런 원리로 안테나를 기계적으로 방향을 바꾸지 않아도 여러 방향으로 전파를 방사할 수 있다.

Fig. 7은 스위치를 이용하여 디지털 위상천이기를 제작한 예이고, 제작된 위상천이기 중 신호 결합부를 보여주고 있다. 위상천이기의 다른 부분에서 스위치를 이용하여 바뀌는 위상을 조정한다. 세 쌍의 스위치를 이용하여 60 GHz의 신호를 0, 45, 90, 135 도 위상 변화시키는 실험을 하였다. 45도 위상변화 시에는 첫 번째 스위치 쌍만 구동시켰고, 90도에는 두 번째 스위치 쌍까지, 135도에는 모든 스위치 쌍을 구동시켰다. 스위치 구동 전압은 35 V 이었다. 실험 결과는 0, 41.5, 84.3, 128.7 도의 실험결과를 얻었고, 이는 4.6 %의 오차에 해당한다.⁴⁾

안테나

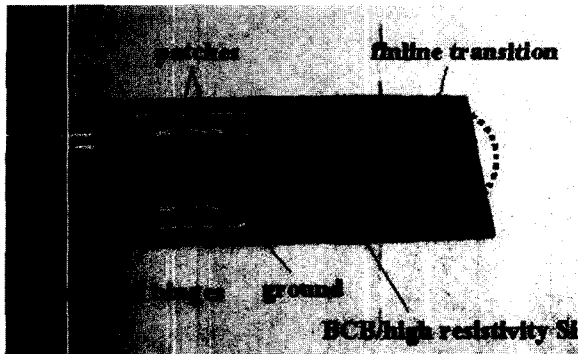


Fig. 8. 가동 안테나의 시스템 사진. 패치안테나가 설치되어 있고 이것이 외부 자장에 따라 기울어지게 되어 있다.

주파수가 높아지면 안테나에서 방사되는 전파의 지향성이 좋아지게 된다. 즉, 모든 방향으로 전파가 퍼지지 않고 레이저 광선과 같이 한 방향으로만 전파하려는 성질이 강해진다. 이런 경우, 안테나가 고정되어 있으면 안테나는 특정 방향으로만 전파를 송신하거나 수신하게 되어 다른 방향으로 전파를 보내거나 다른 방향에서의 전파를 받을 수 없게 된다. 이런 문제를 해결하기 위하여 앞에서 언급한 배열형 위상천이 안테나를 사용하기도 한다.

다른 방안으로 안테나 자체를 기계적으로 움직이게 할 수 있다. 주파수가 높아지면 파장이 작아지고 따라서 안테나도 작게 할 수 있으므로 안테나를 구동시키는 구동기를 작게 할 수 있다. Fig. 8은 패치형 안테나와 안테나를 움직이는 구동기를 MEMS 기술로 제작한 예이다. Fig. 8의 오른쪽 부분에서 신호를 보내어 점점 왼쪽으로 신호가 전송된다. 신호는 안테나를 지지하는 스프링 위에 제작된 신호전송선을 거쳐서 패치형 안테나에 전달되고 공중으로 방사된다. 이때 외부에서 인가하는 자장에 따라 안테나가 기울어지게 되고 이에 따라 방사되는 방향이 바뀌게 된다. -25, 0, 10 도를 기울여서 전파를 방사하는 실험을 수행한 결과, 각각의 각도에서 최대의 전력이 방사하는 예상한 결과와 일치하는 실험 결과를 보였다.⁵⁾

정전용량소자 및 인덕터

MEMS 기술을 이용하면 off chip 소자인 정전용량소자나 인덕터를 다른 소자와 함께 제작할 수 있고 이는

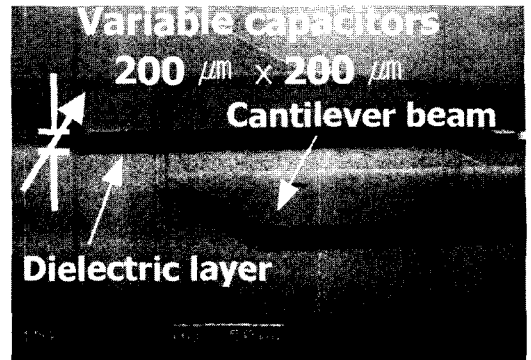


Fig. 9. 가변 정전용량소자.

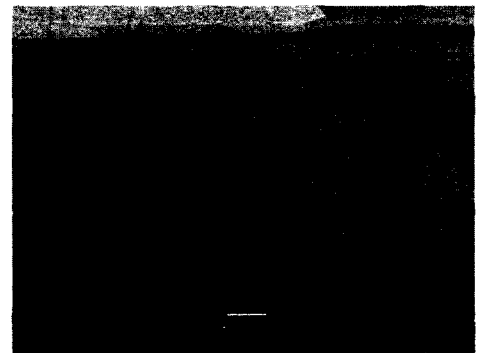


Fig. 10. 인덕터.

시스템을 소형화할 수 있게 한다. Fig. 9와 10은 제작된 가변 정전용량소자와 인덕터를 보여주고 있다. 이 두 소자는 함께 제작이 되어서 중심 주파수를 가변시키는 중심 주파수 가변 여파기를 구성하고 있다. 제작된 여파기의 중심 주파수 32 GHz인데 Fig. 9의 외팔보에 50 V를 인가하면 외팔보의 끝이 2 μm 아래로 휘고, 0.8 GHz의 중심 주파수가 감소하여 2.5 %의 조정 비율을 보였다.⁵⁾ 가변 정전용량소자와 인덕터는 모두 전해도금된 금으로 구성되었다.

5. 우리나라의 선택

이상과 같이 밀리미터파 MEMS 소자는 주파수가 높아지는 무선 통신의 발전추세와 맞물려 점점 더 중요성이 더해지고 있다. 현재 여러 소자의 실현 가능성에 대해서는 이론적이며 실험적인 검증은 완료된 상태이다.

향후 더 나은 성능의 소자를 설계하고 제작하는 기술의 연구 개발과 검증된 소자를 상업적으로 성공시키는



작업이 진행될 것이다. 과거의 예에서 보듯이, 상업적으로 성공시키지 못하면 위에서 예를 든 소자는 늘 교과서에서만 존재하는 책 속의 성공 사례로 남을 것이다.

우리나라의 반도체 산업과 휴대 전화 단말기, IT 기술의 기반을 고려할 때 밀리미터파 MEMS 소자를 개발할 수 있는 환경이 세계적으로 우리나라만큼 골고루 갖춘 나라도 드물다고 생각한다. 그러므로, 세계적으로 경쟁력이 있는 우리나라의 산업과 상승효과를 낼 수 있는 기술이 우리가 선택해서 키워야 하는 기술이라고 생각한다.

참고문헌

1. C. J. Weisman, The Essential Guide to RF and Wireless, Upper Saddle River, Prentice Hall PTR, p.34, 2000.
2. V. K. Varadan, K.J. Vinoy, and K.A. Jose, RF MEMS and their applications, Chichester, John Wiley & Sons, Inc., p. 321, 2003.
3. J.-M. Kim, J.-H. Park, C.-W. Baek and Y.-K. Kim, "The SiOG-Based Single Crystalline Silicon (SCS) RF MEMS Switch with Uniform Characteristics", Journal of Microelectromechanical Systems (in printing) 2004.
4. J.-H. Park, H.-T. Kim, W. Y. Choi, Y. W. Kwon, and Yong-Kweon Kim, "V-Band Reflection-Type Phase Shifters Using Micromachined CPW Coupler and RF Switches", Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 11, No. 6, pp. 808 - 814, Dec. 2002.
5. Gabriel M. Rebeiz, RF MEMS Theory, Design, and Technology, Hoboken, John Wiley & Sons, Inc., 2003.



김 용 권

- 1983년 서울대 전기공학과
- 1985년 서울대 전기공학과(석사)
- 1990년 일본 동경대학교 전기공학과(박사)
- 1992년 일본 히타치제작소 중앙연구소 연구원
- 1992년 서울대 전기컴퓨터공학부 교수