

유전율 측정을 위한 MEMS 프로브

정근석*, 정음민*, 김정무**, 박재형**, 조재원**, 천창을*, 김용권**, 권영우**

*서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부

**서울대학교 전기공학부 3차원 밀리미터파 연구단

MEMS Probes for Permittivity Measurement

Geunseok Jeong*, EumMin Jeong*, Jung-Mu Kim**, Jae-Hyoung Park**,
Jei-Won Cho**, Chanyul Cheon*, Yong-kweon Kim**, Youngwoo Kwon**

*Department of Electrical & Computer Engineering, University of Seoul

**Center for 3-D Millimeter-wave Integrated Systems.

School of Electrical Engineering, Seoul National University

Abstract - 본 논문은 초고주파 영역에서 개방 단말 동축선을 대신해서 복소 유전율을 측정할 수 있는 MEMS 프로브와 그 응용으로 MEMS 프로브 어레이를 제안한다. MEMS 프로브는 기존의 동축선 프로브와 달리 커넥터와의 연결이 간단하여 일회용으로 프로브를 사용할 수 있다는 점에서 의료용으로 사용할 수 있는 가능성이 있다. 샘플의 유전율 분포를 구하기 위해서 기존의 센서는 반복 접촉을 요구하고 이로 인한 번거로움과 측정 오차를 줄일 목적으로 MEMS 프로브 어레이를 개발 하였다. MEMS 프로브 어레이는 RF 스위치를 사용하여 다수의 측정 포인트를 한번의 센서 접촉으로 측정할 수 있는 새로운 개념의 프로브이다. 1GHz부터 40GHz까지의 광대역에서 0.9% 식염수의 유전율을 측정하여 MEMS 프로브의 성능을 검증하였다.

1. 서 론

초고주파 영역에서 유전체의 복소 유전율을 측정하는데 있어 개방 단말 동축선은 다양한 응용예를 보이며 널리 연구되어 왔다[1]. 개방 단말 동축선을 센서로 유전율을 측정하는 방법은 다른 방법들에 비해 상대적으로 간단한 시스템 구조를 갖는다는 장점과 더불어 센서의 외형이 생체에 적용시키는데 적합하다는 장점을 갖고 있다. 하지만 생체에 적용시키기 위해서는 주사 바늘처럼 일회용으로 쓸 수 있어야 하지만 1mm이하의 지름을 갖는 동축선은 커넥터를 포함하여 상당히 고가인 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 동축선을 대신할 수 있는 MEMS 프로브를 제안한다[5]. 또한 MEMS 프로브는 멀티레이어 공정을 사용하므로 다양한 형태로의 응용이 용이하며 그 예로서 새로운 타입의 프로브인 MEMS 프로브 어레이를 소개한다. MEMS 프로브 어레이는 싱글 타입의 MEMS 프로브 5개를 나란히 배열한 구조로 되어 있으며 샘플의 다수의 측정 포인트를 동시에 측정해낼 수 있는 장점을 가지고 있다.

측정 시 네트워크 어널라이저의 표준 보정으로 프로브 이외의 부분은 보정이 가능하며, 프로브에 대한 추가 보정은 공기, 증류수, 메탄올 등 주파수에 따른 유전율을 알고 있는 용액으로 보정이 가능하다 [2][3][4]. 동축선 프로브에 대한 용액 보정 방법은 많은 논문들에 소개 되어있으므로 본 논문에서는 생략 하도록 한다. 개발된 MEMS 프로브의 성능을 시험하기 위해서 널리 측정 대상으로 사용되는 0.9%

식염수의 유전율을 측정하여 이론적인 값인 Cole-Cole equation의 수치와 비교하였다.

2. 본 론

2.1 MEMS Probe (single type)

MEMS 프로브의 기본 구조는 개방 단말 스트립 라인이다. 스트립 라인은 SMA 커넥터와의 연결을 위해 CPW(Coplaner Waveguide) 또는 마이크로 스트립 라인과 연결된다.

그림1은 프로브를 위에서 본 모습과 (a), (b), (c) 3 부분에 대한 단면도이다.

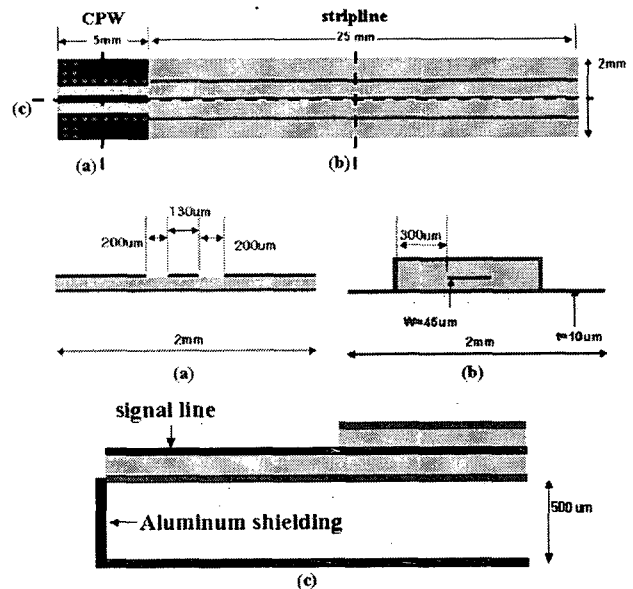


그림 1. MEMS 프로브의 구조

위 그림처럼 프로브는 500um 두께의 글래스 또는 실리콘 위에 형성되어 있으며, 유전체로 BCB (CYCLOTENE 4026-46, Dow Chemical Company, $\epsilon_r=2.7$)를 사용하였다. 스트립 라인의 시그널 라인은 45um의 폭을 갖는다. 그림1(b)에서 스트립 라인의 양 옆을 도체로 막은 것을 볼 수 있는데 이는 도파되는 필드가 미약하나마 프로브의 양 옆으로 새는 것을 막기 위함이다. 프로브의 양쪽으로의 폭이 충분히 넓어서 필드가 새어나감이 전혀 없다면

상관이 없으나 프로브의 폭이 필요 이상으로 넓어지기 때문에 이러한 구조가 필요하다.

프로브의 단면의 크기는 폭 2mm, 두께 90um 이다. 지지용으로 사용된 실리콘 또는 글래스 지지대의 크기는 폭 2mm, 두께 500um 이다. 측정에 사용되는 단면의 크기는 폭 645um, 두께 90um이다. 그림1(c)에서 지지대의 표면을 알루미늄으로 감싼 것은 지지대로 도파모드가 생기는 것을 막고 지그와 접지시키기 위해서 이다.

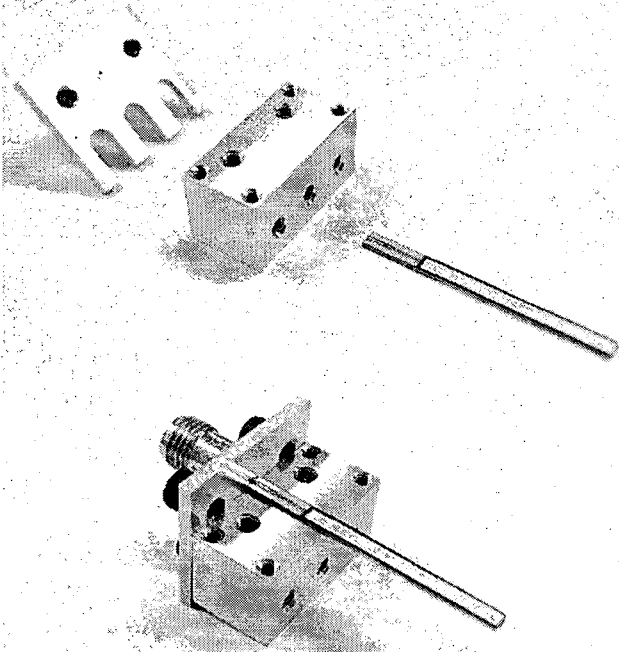


그림 2. 커넥터, 지그, 프로브, 결합 모습

그림2는 제작된 프로브, 지그, 커넥터 그리고 서로 결합된 모습을 보여준다.

측정의 정확성을 기하기 위해서 1GHz부터 6GHz까지는 HP8753D, 5GHz부터 40GHz까지는 HP 8510C 네트워크 어널라이저를 사용하여 0.9% 식염수의 유전율을 측정하였다. 측정된 0.9% 식염수의 유전율은 이론적으로 기준이 되는 값인 Cole-Cole equation의 값과 함께 그림3에 나타내었다.

그림3의 세로축은 측정된 비유전율의 실수부(ϵ_r')와 허수부(ϵ_r'')의 값이다.

폭 2mm의 MEMS 프로브는 더 작은 사이즈의 프로브와 프로브 어레이를 위한 시험용 프로브로서 측정 결과는 만족스러운 결과를 보여준다.

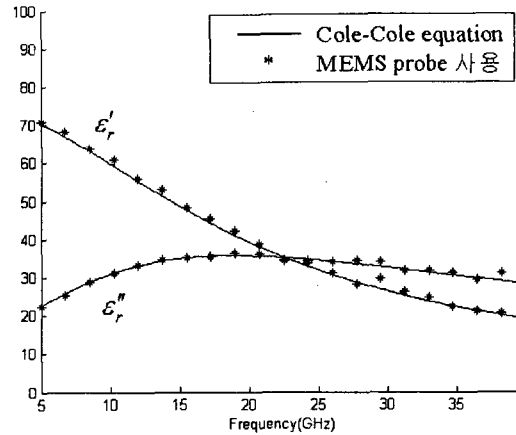
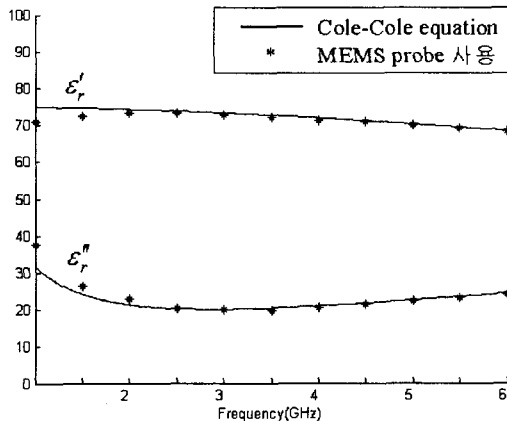


그림 3. 측정된 0.9% 식염수의 유전율과 Cole-Cole equation의 수치와의 비교

2.2 MEMS Probe (array type)

그림4는 MEMS 프로브 어레이의 개방 단말면의 그림과 프로브를 위에서 찍은 사진을 보여준다. 5개의 스트립 라인은 커넥터와의 연결을 위해 사진에서 보이는 5개의 마이크로 스트립 라인으로 연결되어 있으며 각각의 라인은 서로 간섭을 일으키지 않도록 충분히 거리를 두고 있다. 그림5처럼 커넥터에 연결된 프로브 어레이는 그림6과 같이 HP87106C SP6T RF 스위치에 연결된다. 유전율 측정 시 측정을 수행하는 한 개의 라인을 제외한 나머지 스위치 오프된 4개의 라인들은 스위치 내부에서 50옴으로 종단되므로 측정 시 문제가 될 수 있는 커플링에 의한 오차는 크지 않으며 용액 보정으로 보정이 가능하다.

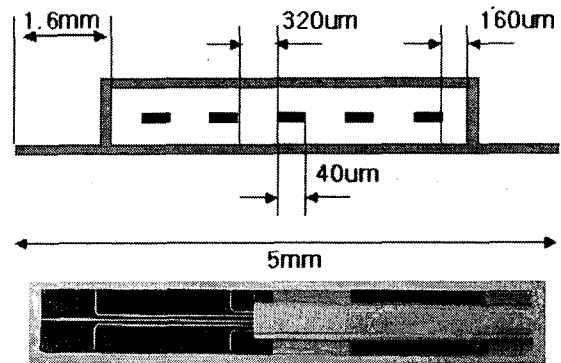


그림 4. 스트립라인 부분의 단면도와 프로브 어레이의 사진

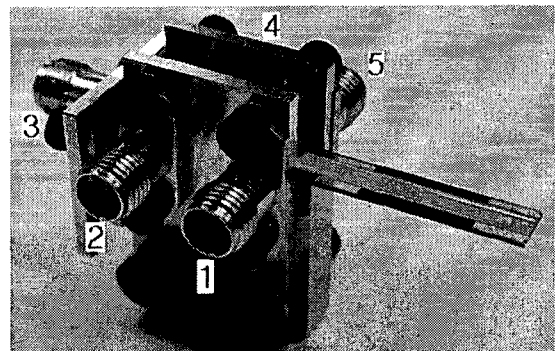


그림 5. 지그와 5개의 커넥터와 결합된 MEMS 프로브 어레이

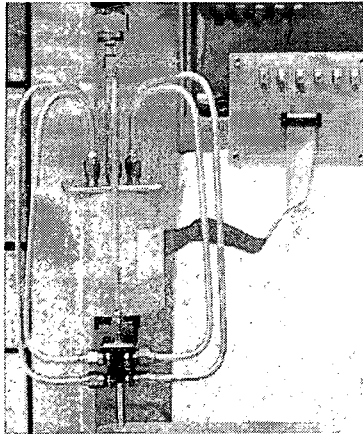
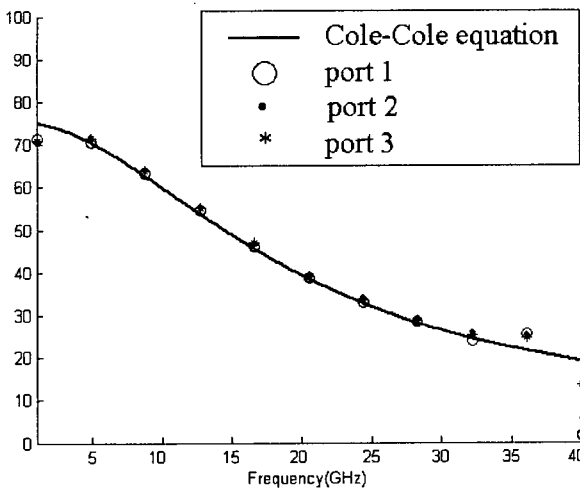
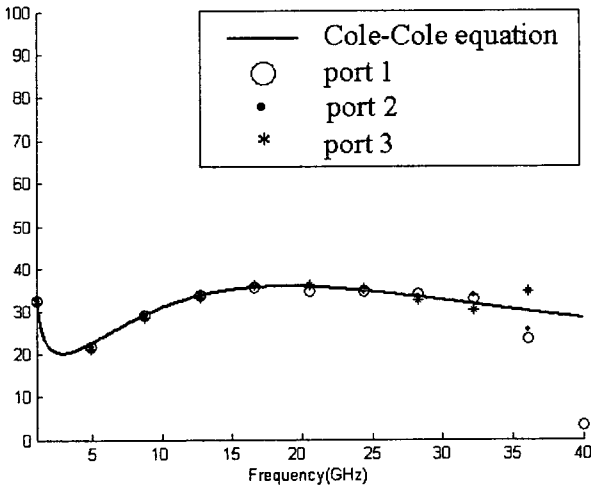


그림 6. RF스위치와 연결된 MEMS 프로브 어레이

그림7은 그림5의 프로브에서 포트 1, 2, 3으로 측정된 식염수의 유전율을 나타낸다. 프로브의 대칭성에 의해 포트 4, 5로 측정한 결과는 그림7에서 생략하였다. 측정결과가 30GHz 정도 이후에서 에러를 보이는 것은 RF스위치의 동작 주파수 범위가 26.5GHz 까지이기 때문이다. 측정결과로부터 알 수 있듯이 MEMS 프로브 어레이의 각 포트는 동일한 성능을 보인다.



(a) 측정된 0.9% 식염수의 비유전율의 실수부



(b) 측정된 0.9% 식염수의 비유전율의 허수부

그림 7. MEMS 프로브 어레이로 측정된 0.9% 식염수의 비유전율

프로브 어레이의 각 포트의 분별력을 보이기 위해 돼지고기의 근육 부분과 지방 부분을 그림8처럼 프로브를 접촉시켜 유전율을 측정하였고 그림9에 나타내었다. 그림9에서 포트 1, 2, 3으로 측정된 근육의 유전율은 포트 4, 5로 측정된 지방의 유전율과 확연히 구별이 되는 것을 알 수 있다.

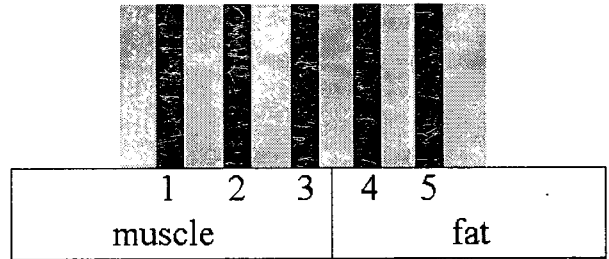
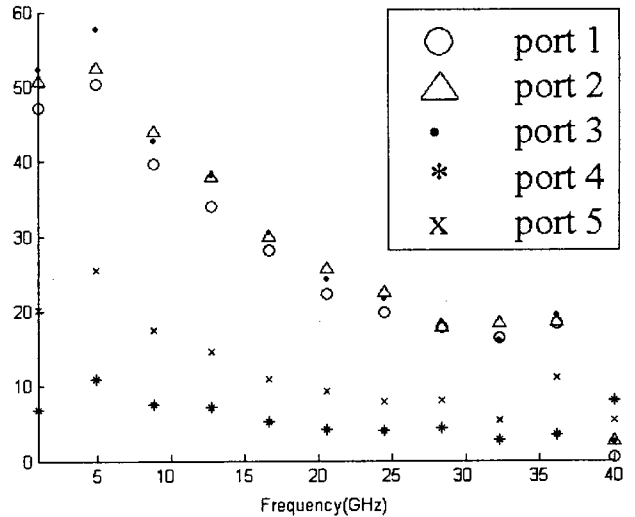
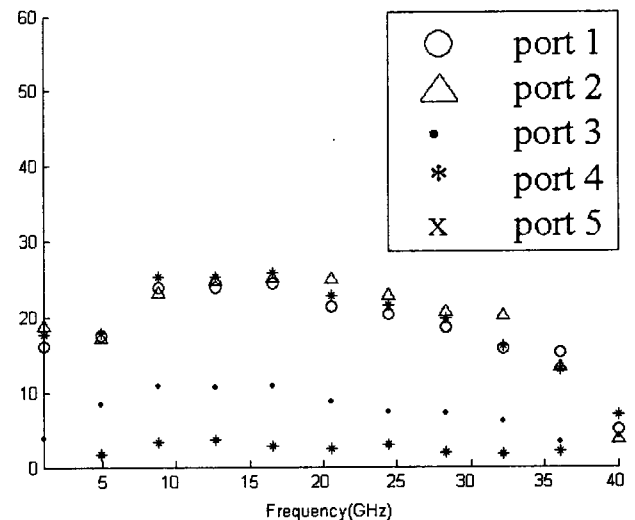


그림 8. 5개의 시그널 라인이 돼지고기 샘플에 접촉되는 그림



(a) 측정된 돼지고기 샘플의 비유전율의 실수부



(b) 측정된 돼지고기 샘플의 비유전율의 허수부

그림 9. MEMS 프로브 어레이로 측정된 돼지고기 샘플의 비유전율

3. 결 론

본 논문은 동축선을 대신하여 유전율 측정에 사용

할 수 있는 MEMS 프로브를 제안하였고 0.9% 식염수의 유전율을 측정하여 성능을 검증하였다. 제안된 MEMS 프로브는 커넥터와의 연결이 간단할 뿐만 아니라 웨이퍼 공정으로 인한 대량 생산성, 작은 크기 등을 장점으로 갖는다. 또한 평면형 구조로 인해 프로브 어레이와 같은 응용 프로브의 설계가 용이하다. MEMS 프로브 어레이의 다수 포인트 측정 개념은 샘플의 유전율 맵을 작성하는 용도로 꼭 필요하며 싱글 타입의 프로브 같이 아주 간단한 커넥터와의 연결 구조를 갖기 위해서 RF 스위치를 프로브에 집적하는 것이 당면 과제이다.

(참 고 문 헌)

- [1] M. A. Stuchly and S. S. Stuchly, "Coaxial line reflection methods for measuring dielectric properties of biological substances at radio and microwave frequencies - A review," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, Vol. 29, No. 3 pp. 176-183, Sept. 1980.
- [2] Y. Z. Wei and S. Sridhar, "Technique for measuring complex dielectric constants of to 20GHz," *Rev. Sci. Instrum.* Vol. 60, No. 9, pp. 3041-3046, May. 1989.
- [3] A. Nyshadham, C. L. Sibbald and S. S. Stuchly, "Permittivity measurements using open-ended sensors and reference liquid calibration - An uncertainty analysis", *IEEE Trans. MTT*, Vol. 40, pp. 305-313, Feb. 1992.
- [4] EumMin Jeong, Geunseok Jeong, Youngwoo Kwon, Changyul Cheon, "Permittivity measurement in low frequency range using open-ended coaxial probe with various calibration liquids," *2003 Asia-pacific Microwave Conference*, Vol. 2, pp. 2036-2039, Nov. 2003.
- [5] EumMin Jeong, Geunseok Jeong, Jung-Mu Kim, Jae-Hyoung Park, Jei-Won Cho, Changyul Cheon, Yong-kweon Kim, Youngwoo Kwon, "Multi-layer processed probes for merrittivity measurement," *2004 IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, Vol. 3, pp. 1813-1816. June 2004.