

RF Switch용 강유전체 Cantilever 설계에 관한 연구

김인성, 민복기, 송재성, A. Muller*

한국전기연구원 전자기소자연구그룹, 루마니아 IMT*

A Study on design of the Ferroelectrics Cantilever for RF Switch

In-Sung Kim, Bok-Ki Min and Jae-Sung Song, A. Muller

Korea Electrotechnology Research Institute, IMT Romania

Abstract

RF MEMS is a miniature device or an array of integration devices and mechanical components and fabricated with IC batch-processing techniques. RF MEMS application area are in phased arrays and reconfigurable apertures for defence and telecommunication systems, switching network for satellite communication, and single-pole double throw switches for wireless application. Recently, RF MEMS switches have been developed for the application to the millimeter wave system. RF MEMS switches offer a substantially higher performance than PIN diode or FET switches.

In this paper, SPDT(single-pole-double-throw) switch are designed to use 10 GHz. Actuation voltage and displacement are simulated by tool. And stress and distribution are simulated.

Key Words : RF Switch, Microwave, Ferro-electrics, Cantilever, Simulation, Operation voltage

1. 서론

현재 사용되고 있는 RF 스위치는 FET와 Pin diode 스위치와 같은 반도체 스위치로써 높은 삽입 손실과 낮은 isolation, 높은 전력소모, 좋지 않은 고주파 특성 등 여러 문제점을 갖고 있다. 따라서 표 1에 나타낸 장단점과 같이 이러한 반도체 스위치의 문제점을 개선한 새로운 스위치가 개발되고 있는데 바로 RF MEMS 스위치다. 한 예로 반도체 스위치의 소비전력은 mW로써 이는 반도체 스위치 1개당 MEMS 스위치 1,000개의 소비 전력과 같은 결과로써 통신 시스템의 고집적화에 유리하다. 또한 MEMS 스위치는 기존의 반도체 공정으로 제작한 능동소자와 집적화 및 On-Chip Packaging이 가능하다는 것도 장점이다. 이러한 RF MEMS 스

위치는 송신 신호/수신 신호 전환기, 임피던스 정합 회로, reconfigurable 필터 banks, smart antennas, mm-wave 대역의 tuning element 등으로 다양하게 사용될 수 있어서 연구 개발이 폭 넓게 이루어지고 있다[1, 2, 3].

2. 본론

2.1 MEMS Switch

RF MEMS switch는 cantilever와 membrane 구조의 스위치들과 rotary 방식의 스위치들이 있으며, 국내외적으로 많은 연구가 행해지고 있다. 그림 1은 고주파 회로내에서 MEMS Switch의 회로 소자를 나타낸 것이며, 그림 2는 회로소자에 대한 lumped model를 나타낸 것이다.

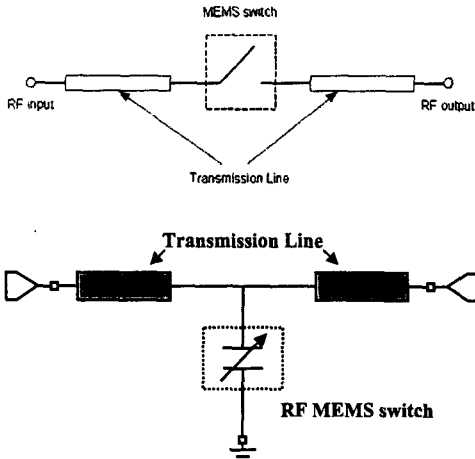


그림 1. Cantilever beam switch의 단면도
(a) OFF 상태, (b) ON 상태.

Fig. 1. Cross-sectional view of Cantilever beam switch.

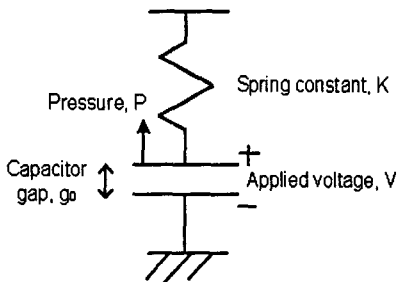


그림 2. RF switch의 lumped 모델.

Fig. 2. The lumped model of RF switch.

그림 3은 저항형 스위치와 용량형 스위치의 구조 및 동작원리에 대하여 설명해준다. 저항형 스위치는 그림에서와 같이 직접적으로 전극과 전극을 접촉하는 방식이며 용량형 스위치는 구동전압이 인가되었을 때(움직이는 상부 전극이 고정된 하부 전극위의 절연체 위로 달라붙어서 capacitor가 형성되어 capacitance가 커짐)와 인가되지 않았을 때(움직이는 상부 전극과 고정된 하부전극 사이에 air gap이 존재하여 capacitance가 아주 작음)의 impedance on/off ratio에 의하여 스위칭 하는 방식이다. 따라서 용량형 스위치의 경우는 bias 전압이 인가되었을 때의 impedance가 커야 좋은 isolation 특성을 얻을 수 있다. 열전구동(Electro-Thermal) 방식, LG에서는 압전 구동 방식을 채택하여 저전압 구동 스위치를 연구 개발하고 있다.

표 1. RF MEMS 스위치와 반도체 스위치 성능.
Table 1. RF MEMS Switch and FET Switch.

변수	GaAs FET	TI	HRL	Michigan
구동전압 (V)	~1	~50	~25	15~20
삽입손실 (dB)	at 6GHz	at 10GHz	0.2	at 22GHz
격리도 (dB)	at 2GHz	at 10GHz	at 12GHz	at 22GHz
응답속도 (us)	0.01	3.5~5.3	20	-
원리		용량형	저항형	용량형

그림3과 그림 4는 제작된 RF MEMS 스위치들의 예이다. 표 1에서 본파와 같이 RF MEMS 스위치들의 성능이 구동전압이 높은 것을 제외하고는 기존의 반도체 스위치들의 성능보다 우수함을 볼 수 있다. 하지만 MEMS 스위치들은 상용화가 되기 위해서는 수백만 번의 작동을 해야 하므로 신뢰성이 가장 중요한 변수이다. 특히 RF MEMS 저항형 스위치의 경우 microwelding에 의하여 용량형 스위치의 경우는 charge에 의하여 발생하는 stiction이 여전히 해결해야 할 문제로 남아 있다.

2.2 Membrane와 Cantilever Switch

구조물의 형태에서는 cantilever 형태와 bridge 형태의 membrane 구조를 갖는 형태가 주로 연구되고 있다. Cantilever beam 구조는 그림 3에서 볼 수 있듯이 beam의 한 끝은 기판에 고정되어 있고, 다른 한 끝은 움직일 수 있도록 공기 중에 부상되어 있는 형태이다. Cantilever beam에 전기력이 가해지지 않으면 그림 1의 (a)와 같이 beam은 일정한 거리를 두고 부상되어 있을 것이며, cantilever beam과 바닥 전극 사이에 충분한 정전기력이 가해지면 그림 1의 (b)와 같이 beam의 한쪽 끝이 바닥의 신호선과 붙을 것이다. 다시 전기력을 끊으면 beam은 원 위치로 돌아갈 것이다. 그림에서는 볼 수 없지만, 이러한 경우에 RF 신호선과 bias 전극 사이에 RF적으로 격리를 시켜야 하므로 설계, 구조 및 공정 설계에서 이를 고려해야 한다. Membrane 구조는 그림 4와 같이 움직일 수 있는 얇은 beam의 양쪽 끝이 기판에 지지되어 구조에

서 공기 중에 부상되어 있는 형태이다. 그림 4의 (a)와 같이 외부에서 아무런 힘이 가해지지 않은 초기 상태에서는 cantilever beam 구조와 같이 membrane이 기판과 일정한 거리를 두고 부상되어 있다. Membrane을 변형시킬 수 있는 이상의 전기력이 membrane과 전극 사이에 가해지면 membrane은 휘어져서 그림 4의 (b)와 같이 신호선과 붙게 된다. 다시 전기력을 끊으면 beam은 원상태로 돌아간다.

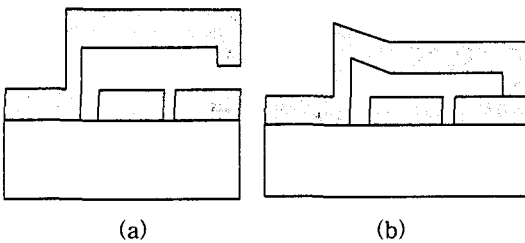


그림 3. Cantilever beam switch의 단면도
(a) OFF 상태, (b) ON 상태.
Fig. 3. Cross-sectional view of Cantilever beam switch.

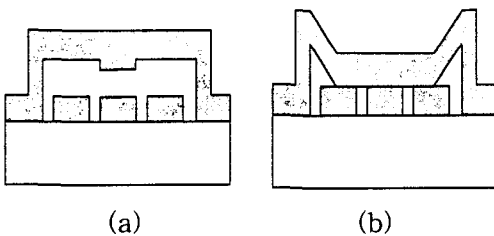


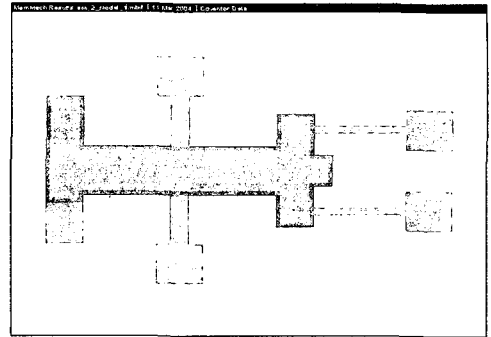
그림 4. Membrane 구조의 RF Switch 단면도
(a) OFF 상태, (b) ON 상태.
Fig. 4. Cross-sectional of Membrane switch.

이때에도 cantilever의 경우와 같이 RF와 DC 사이를 적당히 격리시켜야 한다.

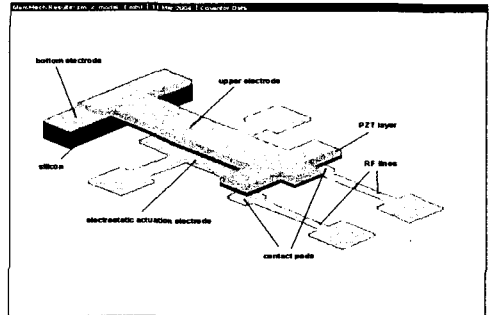
2.3 유전체 Cantilever 디자인

유전체 cantilever 디자인은 MEMS 모델링을 위한 Tool인 Coventor 6.0을 이용하였으며, 마이크로 스트립 라인과 전송선은 IE3D(Fidelity soft from Zeland)를 사용하였다. 구조는 cantilever 사이에 강유전체 층인 PZT층을 두어서 일정한 전계하에 있을 때 변위가 일어나 스위칭되는 형태이다. 그림 5의 (a)는 단면을 나타낸 것이며, 진한색(녹색) 부분은 상부 전극을 보이고 있다. 그림 5의 (b)는 전

체적인 모델링을 나타낸 것이며, 진한색(파란색) 부분은 변위체를 표시하고 있다.



(a)



(b)

그림 5. Cantilever 스위치의 모델링.
Fig. 5 Modeling of cantilever for switch.

3. 결과 및 고찰

Cantilever형 스위치에 유전체 층을 두어 디자인한 결과 그림 6에 나타내었다. 노란색 부분은 상대적으로 변위가 큰 부분을 나타내며, 파란색 부분은 역시 작은 변위가 나타남을 뜻한다.

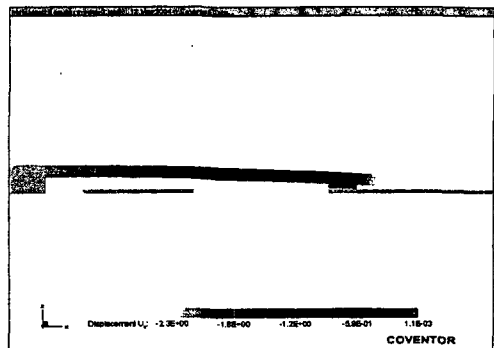


그림 6. Cantilever를 시뮬레이션 설계한 결과.
Fig. 6. Result of design for switch cantilever.

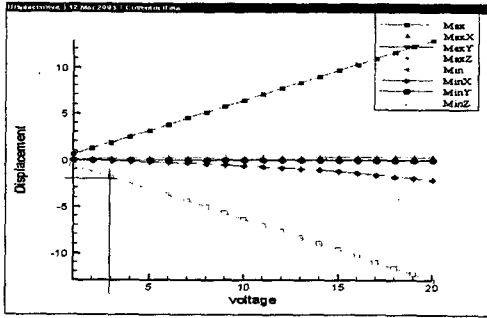


그림 7. 인가전압에 따른 변위 분포
(cantilever 길이가 40 μm 일때).
Fig. 7. Displacement as a applied voltage.

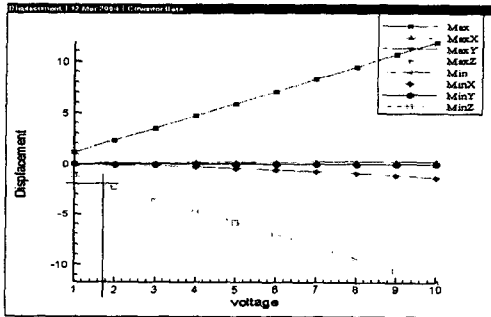


그림 8. 인가전압에 따른 변위 분포
(cantilever 길이가 60 μm 일때).
Fig. 8. Displacement as a applied voltage.

Coventor 6.0으로 시뮬레이션 한 결과 그림 7과 같은 결과가 도출되었으며, 일정한 인가전압에서 cantilever는 작동하여 스위치-on 되었으며, 길이가 40 μm 일때 3 V에서 2 μm 의 변위가 나타났다. 그러나 그림 8의 인가전압에 따른 변위 분포에서는 cantilever의 길이를 60 μm 까지 가져가면 보다 더 낮은 작동 전압을 얻을 수 있다. 즉, 다바이소 적용할 경우 낮은 작동 전압은 낮은 소비전력을 필요로 하고 보다 더 적은 기기의 다바이소에 이용이 가능하기 때문이다. Cantilever가 작동시 전체적으로 분포되는 스트레스 분포를 그림 9에 나타내었다. 전극과 앵커 부분에 집중되지 않고 고르게 분포됨을 나타내었으며, cantilever를 서로 다른 이중(Si-PZT-Si) 소재를 적용해도 무리가 없음을 나타낸다. 그러나 공정에서는 많은 어려움이 있다고 보고되고 있다.

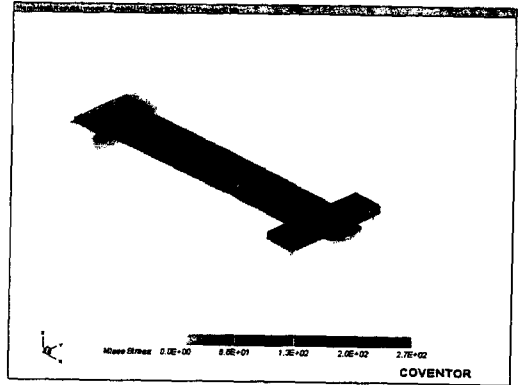


그림 9. 작동시 스트레스 분포
(cantilever 길이가 60 μm 일때).
Fig. 9. Distribution of cantilever stress.

4. 결론

외팔보 층에 유전체 층을 두어 Cantilever를 모델링하고 시뮬레이션해본 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1). Cantilever의 변위는 전 영역에 걸쳐 고르게 나타났다.
- (2). Cantilever 길이 60 μm 이내에서 스위치-on 될 수 있는 변위를 나타냈으며, 1/3의 길이를 더함에 따라 작동 전압은 거의 1/2로 감소하였다.
- (3). 강유전체를 사용하여도 Cantilever가 작동시 스트레스 분포는 균일하였다.

참고 문헌

- [1] Tom Campbell, "MEMS Switch Technology approaches the Ideal Switch", Applied Microwave & Wireless, pp. 100-107, May, 2001
- [2] Randy J, Richards, Hector J, De Los Santo "MEMS for RF/Microwave Wireless Application; The next wave", Microwave Journal, 2001.
- [3] 단일칩 집적화를 위한 RF MEMS 수동소자, 전자파학회지, 2002, V 13, No. 2.
- [4] D. Hyman, A, Schmitz, B. Warneke, T. Y. Hsu, J. Lam, J, Schaffner, A, Walston, R, Y, Loo, G, L, Tangonan, M, Meheregany, J, Lee, "Surface Micromachined RF MEMS Switch on GaAs substrate", Int. J. rf Microwave CAE Vol. 9, No. 4.