

# RF MEMS 스위치의 유전알고리즘을 이용한 최적 설계 및 제작에 관한 연구

## A Study of optimal design using GA and fabrication for RF MEMS switch

\*성기은<sup>1</sup>, 유지영<sup>2</sup>, #이세현<sup>3</sup>  
\*K. Sung<sup>1</sup>, J. Y. Young<sup>1</sup>, #S. Rhee<sup>1</sup>(srhee@hanyang.ac.kr)  
<sup>1</sup> 한양대학교 기계공학부

Key words : RF MEMS Switch, Genetic Algorithm, Cantilever, Electrostatic

### 1. 서론

본 연구에서는 저전압에서 구동 가능한 RF MEMS 스위치를 유전 알고리즘과 유한요소 해석을 통해 설계하고 이를 기반으로 실제 스위치를 제작하였다.

이러한 RF MEMS 스위치는 RF-ID, Smart card, USN 등 저전력이 필요하고 통신부분의 단일칩화가 필요한 부분에 중요하다. 이러한 적용을 위해, 새로운 개념을 도입하여 스위치의 구동전압을 낮추려고 한 연구들이 최근 많이 진행되고 있다. 그 예로, 구동 방식을 바꾸거나[3], 새로운 형상을 도입[4]한 경우도 있고 기존의 기술을 보완하기 위해 새로운 구동 방식을 추가한 경우[2]도 있었다. 이 방식들 모두 5V 미만의 낮은 구동 전압을 구현하는데 성공했지만 복잡한 형상으로 인해 제작하기 매우 까다롭고, 현재 많이 사용되고 있는 주파수대(<2.4GHz)에서는 사용이 곤란한 문제점 등을 갖고 있다. 특히 제작 공정은 단가를 최소한으로 낮춰야 하는 모바일 기기의 특성을 고려하면 최소한으로 구성되는 것이 좋다.

정전기력을 이용한 기존의 RF MEMS 스위치의 기본적인 형상을 유지하며 스위치의 스프링 상수 값을 낮추거나 [1], 정전기력을 받는 영역을 넓혀서[5] 구동전압을 낮춘 연구들도 있다. 이 경우 구동 전압이 6-9V 정도이다. 현재 사용되는 모바일 기기들의 사용 전압을 고려 할 때 5V 이하의 구동전압을 구현하는 것이 필요하다. 그러나 구동전압을 낮추면 스위치의 내구성이 낮아지는 문제점이 있다.

그렇기 때문에 낮은 구동 전압을 갖고도 기계적으로 충분한 내구성을 갖는 모바일 기기용 RF MEMS 스위치의 개발이 요구된다.

### 2. Cantilever 형 RF Switch 의 이론적 모델을 이용한 설계 변수 결정

모델링을 위해 외팔보 형태의 RF MEMS 스위치는 기계적인 접근이, 구동 전압과 스위치에 작용되는 힘과의 관계는 정전기력을 통한 계산이 사용되었다. 가장 간단히 고려해 보면 힘은 구동 전압과 외팔보의 위치의 함수이고 이 힘을 통해 기계적인 지배 방정식을 갖는다. 그러나 외팔보의 스프링 상수는 외팔보의 형상에 따라 달라지고 형상이 간단하지 않은 경우 정확히 계산하기 어렵다. 또한 정전기력에 의한 힘도 구동 전압의 변화와 스위치의 높이 변화 그리고 구동 전극(Bias electrode)의 위치에 따라서 변하기 때문에 수식으로 표현하기 힘들다. 기존의 연구에서도 이론적 수식에 의한 결과와 FEM 해석 결과간의 차이가 큰 것을 알 수 있다.[6]

그러나 최적 설계를 수행하기 위해서는 어떤 변수를 설계 변수를 지정하고 이 설계 변수들을 어떤 범위 내에서 최적화 할 것인지를 반드시 결정해야 한다. 유전 알고리즘이 설계 변수의 영역을 결정하기 힘든 경우 전역적인 최적값을 찾는 것에 장점을 가지고 있지만 최소한의 정보는 반드시 필요하다. 따라서 외팔보에 대한 이론적인 모델을 간략화하여 구하고 이것을 이용해서 설계 변수를 찾았다.

본 연구에서는 Fig. 1 에서 보는 것과 같은 전형적인 형태의 MEMS 스위치의 형상을 가정 하였다. 이 스위치는 전

극에 전압이 인가되면 정전기력이 발생하여 스위치가 작동한다. 이때 외팔보는 굽힘 변형이 발생된다. 이 처짐량이 초기 간격만큼 발생하면 스위치가 켜진 상태가 된다. 이때 필요한 힘이 작을수록 낮은 전압에서 동작 가능한 스위치가 된다.

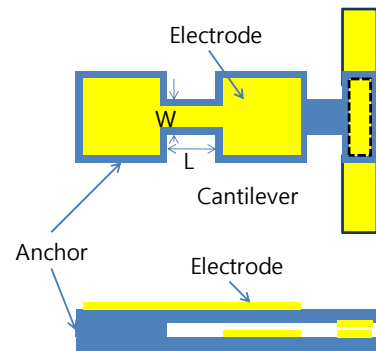


Fig. 1 Simple model of cantilever type MEMS switch

외팔보의 처짐량을 계산하기 위해서는 복잡한 계산을 수행해야 한다. 전극과 외팔보의 재질이 다르고 또한 외팔보의 단면이 불연속적으로 변하기 때문이다. 구동전극은 구부러지지 않고, 구동력은 길이 L(Fig.1)의 유연한 외팔보의 끝에 집중하중의 형태로 바랄 수 있다고 가정하면 대략적인 처짐량을 추정하는 것은 가능하다.

외팔보를 복합보로 보고 단면변환법을 사용하면 단순화된 외팔보의 중립축에 대한 관성 모멘트를 구하는 것이 가능하다. 이 관성 모멘트는 외팔보의 폭(W), 길이(L), 전극과 외팔보의 영률과 두께의 함수로 표현된다. 그리고 식(1)의 변형된 처짐 공식을 통해 필요한 힘을 추정 할 수 있다.

$$P_{load} = 3v_{max}EI/L^3 \quad (1)$$

여기서  $v_{max}$ 는 원하는 처짐량이고 E 는 외팔보의 영률, I 는 관성 모멘트를 의미한다.

### 3. FEM 과 유전 알고리즘을 이용한 최적설계

설계 변수를 결정하기 위해서는 우선 제작이 가능한 조건인지 확인해야 한다. 스위치의 제작 단가를 최소화하는 공정을 제안하기 위해서 단순한 모양과 일반 COMS 공정에서 사용 할 수 있는 공정을 고려하여 재료를 선정하였다.

Table 1 Design parameters and target range

Parameter	Width(1)	Length(2)	Initial Gap(3)
Range	20-100	50-150	1-2
(uint)	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$
Parameter	Young's(SiN)(4)	Thickness(SiN)(5)	Thickness(Au)(6)
Range	100-300	10000-20000	5000-10000
(uint)	GPa	$\text{\AA}$	$\text{\AA}$

전극과 외팔보의 재료를 각각 금(Au)과 질화실리콘(SiN)으로 결정하면 각각의 영률은 설계 변수에서 제외 할 수

있다. 그러나 SiN 은 공정 조건에 따라 영률값이 크게 변하기 때문에 이에 대한 주의가 필요하다.[8] 공정이 가능하도록 설계 변수를 제한하면 Table 1 과 같이 설계 변수를 결정할 수 있다.

이렇게 찾아진 설계변수들이 구하고자 하는 힘에 얼마만큼 영향을 미치는지를 확인해야 유전 알고리즘을 적용할 설계 변수를 결정 할 수 있다. 각각의 설계 변수가 결과에 미치는 영향은 2 절에서 찾은 모델을 이용하여 값을 계산하였다.

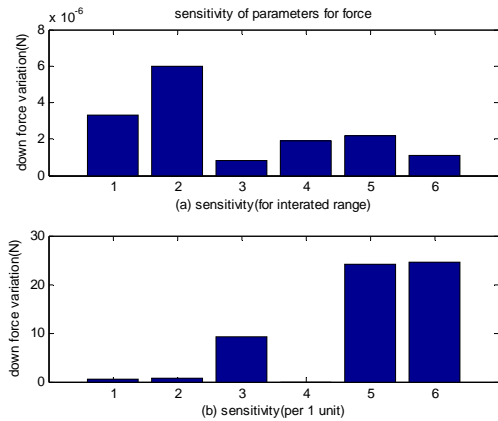


Fig. 2 (a) Result sensitivity for interested range (b) result sensitivity for 1 unit

Fig. 2 에서 x 축의 숫자는 Table 1 의 설계 변수들을 의미한다. Fig. 2(a)를 보면 고려된 설계 영역에서 모든 설계 변수들이 동일한 결과에 대해 동일한 차수의 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. Fig. 2(b)는 각 설계 변수의 1 단위가 변할 때 결과에 미치는 영향이다. 상대적으로 두께와 초기 간격등 작은 길이를 갖는 값들이 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다. 일반적으로 SiN 의 두께와 금의 두께는 서로 관련을 가지고 있다. 따라서 이 두가지를 하나로 묶어서 사용하는 형태를 취한다. 그리고 초기 간격과 SiN 의 영률 은 결과에 큰 영향을 주지 않는다고 판단하여 제외하였다.

최종적으로 유전알고리즘에 의해 최적화 될 설계 변수는 폭(W), 길이(L), SiN 과 금의 두께로 결정 하였다. 유전자는 Table 1 과 동일한 범위에서 폭과 길이에 대해서는 각각 5bits 를 SiN 과 금의 두께에 대해서는 각각 3bits 를 할당 해서 설계하였다.

교배 및 돌연변이가 끝난 개체를 이용하여 FEM 해석을 수행하고 FEM 에서 얻어진 결과를 이용하여 다시 평가를 하여 다음 세대를 결정하는 방법을 사용하였다.

4. 제작 및 실험

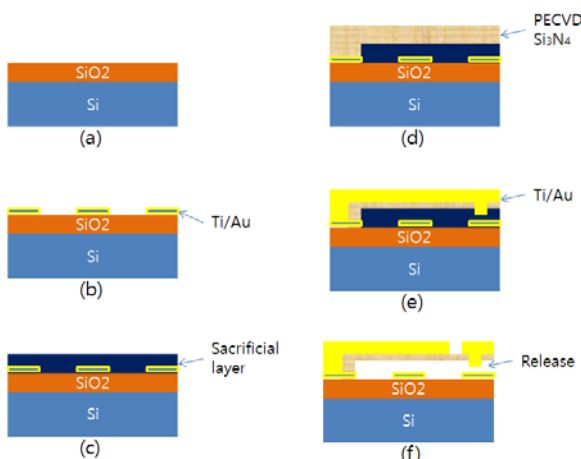


Fig. 3 Process flow for RF MEMS switch

모델을 통한 해석에서 찾아진 최적 해를 바탕으로 실제로 MEMS 스위치를 하였다. 스위치를 제작하기 위한 공정은 Fig. 3 과 같고 실제 제작된 스위치는 Fig.4 와 같다.

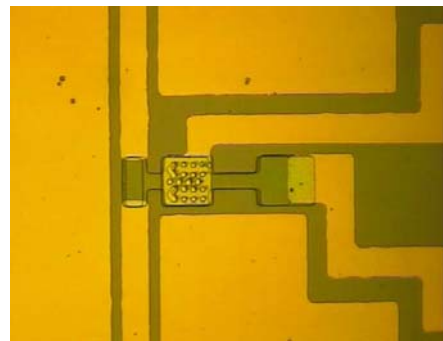


Fig. 4 Fabricated RF MEMS switch

5. 결론

모바일기기 등에 사용 가능하도록 낮은 전압에서 구동 가능한 RF MEMS 스위치를 구현하는 것을 목적으로 하였다. 외팔보 형상의 DC 접촉 스위치를 기계적/정전기적으로 모델링하고 이를 통해 설계 변수를 결정했다. 결정된 설계 변수를 바탕으로 유전 알고리즘을 이용하여 유한 요소 해석을 수행 하여 최적의 설계 값을 찾았다. 그리고 최적 설계 조건으로 실제 스위치를 제작하여 그 성능을 확인하였다.

후기

본 연구는 서울특별시의 전자산업 혁신 클러스터 육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

1. D. Peroulis, et al, "Electro-mechanical considerations in developing low-voltage RF MEMS switches", IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 51(1), 259-270, 2003
2. I. J. Cho, et al, "A low-voltage and low-power RF MEMS series and shunt switches actuated by combination of electromagnetic and electrostatic forces", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 53(7), 2450-2457, 2005.
3. Y. Wang, et al, "A Low-voltage Lateral MEMS Switch with High RF performance", Journal of Microelectromechanical systems, 13(6), 902-911, 2004.
4. S. D. Lee, et al, "A Novel Pull-up Type RF MEMS Switch with Low Actuation Voltage", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 15(12), 856-858, 2005.
5. S. R. Pacheco, et al, "Design of low actuation voltage RF MEMS switch", Microwave Symposium Digest, 1, 165-168, 2000.
6. S. Afrang, et al, "Design and simulation of simple and varying section cantilever and fixed-fixed end types MEMS switches", ICSE 2004 Proc., 595-596, 2004.
7. Gabriel M. Rebeiz, "RF MEMS THEORY, DESIGN, AND TECHNOLOGY", WILEY INTER-SCIENCE, 2003.
8. E. Cianci, et al, "Young's modulus and residual stress of DF PECVD silicon nitride for MEMS free-standing membranes", Microelectronic Engineering, 84(5-8), 1296-1299, 2007