

점착 문제 없이 낮은 동작 전압을 가지는 MEMS 스위치를 만들기 위해 제작이 완료된 후 상/하판 사이 간격을 줄이는 영구 변형 방법에 대한 연구

윤용훈*, 김수본, 윤건욱, 윤준보
KAIST 전기및전자공학부
E-mail: phyoon@3dmems.kaist.ac.kr

The plastic deformation method to reduce air-gap after fabrication process for a low pull-in voltage MEMS switch without stiction problem

Yong-Hoon Yoon*, Su-Bon Kim, Gun-Wook Yoon, and Jun-Bo Yoon
School of Electrical Engineering, KAIST

Abstract

This paper reports a unique method to achieve low pull-in voltage of MEMS switch after fabrication. For this purpose, the creep, which is well known as failure mechanism, was employed and controlled to lower the air-gap between top plate and bottom electrode. With only electrical control, the pull-in voltage of MEMS switch was reduced from 25 V to 12 V using proposed technique. The switch speed was also reduced from 23 μ s to 6.5 μ s. Then, the MEMS switch was actuated over 10^7 cycles.

Keyword - MEMS (멤스), Switch (스위치), Relay (릴레이), Pull-in Voltage (동작전압), Stiction (점착), Creep (크립), Plastic Deformation (영구변형)

1. 서론

MEMS 스위치는 OFF 상태에서는 누설 전류가 없으며 ON 상태에서는 신호를 왜곡 없이 작은 손실로 전달할 수 있다는 점에서 이상적인 스위칭 소자로 다양한 분야에서 주목 받고 있다 [1].

이러한 장점에도 불구하고 수십 V 수준의 높은 동작 전압은 MEMS 스위치가 실제 응용 분야에 적용 되는 것을 막고 있다. 이를 해결하기 위해 다양한 연구가 있어 왔지만 그 중에서도 상/하판 사이의 간격을 극도로 줄임으로써 정전기력을 극대화시켜 동작 전압을 줄이는 방법이 현재 가장 좋은 결과를 보이고 있다[2].

하지만 이렇게 극도로 작은 상/하판 간격은 제작 과정에서 점착 (Stiction) 문제를 야기하게 되어 구조와 공정과정이 복잡하고 어려워지게 되고 또한 제작이 되더라도 수율이 매우 낮아지게 되어 실제 응용 분야로의 도입을 막게 된다 [2]. 이러한 점착 문제를 해결하기 위해 구조적인 지지대를 형성 하거나 빔의 아랫면 형상을 곡면으로 만드는 등 구조적인 연구가 있어왔으나 점착 문제를 완화하는 정도에 불과하고 근본적인 해결책은 되지 못한 실정이다 [3].

본 논문에서는 제작 과정에서의 점착 문제를 피하기 위해 일단 상/하판 사이 간격을 크게 하여 만들고, 모든 제작 과정이 끝난 뒤 동작 전압을 낮추기 위해 상/하판 간격을 줄이는 영구변형 방법을 최초로 MEMS 스위치에 도입하였다.

2. 본론

2.1 제작 후 상/하판 간격을 줄이기 위한 영구변형 방법

움직이는 MEMS 구조체에서 반복적인 동작으로 인한 기계적인 변형 현상 (Creep)은 잘 알려진 신뢰성 문제이다. 이러한 변형은 의도적으로 조절할 수만 있다면 제작 후에 MEMS 스위치의 상/하판 간격을 줄일 수 있다는 가능성을 암시한다.

구체적인 방법은 그림 1 과 같다. 먼저, 정전기력을 통해 힘을 가해준다. 이 상태에서 매우 오랜 시간이 지나게 되면 Creep 현상에 의해 영구적으로 변형이 된다. 하지만 이는 너무 오랜 시간이 걸리기 때문에 스프링 부분에 줄열을 가해 가속해 준다. 적절한 시간이 지난 후 정전기력과 줄열을 제거해주면 영구적으로 변형이 되어 상/하판 간격이 줄어들게 된다. 제안된 방법론은 본 저자가 과거 학회에 발표했던 내용을 토대로 MEMS 스위치에 맞게 적용한 것이다 [4].

2.2 MEMS 스위치 측정 결과

그림 2 는 동작 전압을 줄이기 위한 실험에 사용된 MEMS 스위치 이다. 그림 3 은 영구변형을 통해 실제로 동작 전압이 25 V 에서 12 V 로 줄어든 것을 보여주는 결과이다. 이러한 결과는 본 논문에서 주장하고자 하는 내용을 증명한다. 또한 그림 4 는 영구변형 이후 스위칭 속도가 빨라지는 것을 보여준다. 이는 상/하판 사이 간격이 줄어 움직이는 거리가 줄었기 때문이다. 마지막으로 그림 5 는 제안된 방식이 적용된 후에도 MEMS 스위치가 신뢰적으로 움직일 수 있다는 것을 증명한다.

3. 결론

본 연구에서는 점착 문제를 피하기 위해 제작 후에 상/하판 간격을 줄여 MEMS 스위치의 동작전압을 줄일 수 있는 방법을 제안하였다. 그 결과 25 V 의 동작 전압을 12 V 로 줄였다. 또한 이를 통해 스위칭 속도 또한 빨라지는 것을 확인 하였다. 그리고 이러한 방식을 적용한 이후에도 10^7 이상 신뢰적으로 동작하는 것을 확인하였다.

참고문헌

[1] G. M. Rebeiz, "RF MEMS Theory, Design and Technology", 1st ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2003.
 [2] M.-W. Kim, and et al. "An ultra-low voltage MEMS switch using stiction-recovery actuation," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 2013.
 [3] C. D. Patel, and et al. "RF MEMS Metal-contact switches with mN-contact and restoring forces and low process sensitivity," *Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 2011.
 [4] Y.-H. Yoon, and et al. "Three-dimensional (3-D) reshaping technique in MEMS devices by solely electrical control with ultrafine tuning resolution", IEEE MEMS conference, 2014.

감사의 글

This work was supported by the Center for Integrated Smart Sensors funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning as "Global Frontier Project" (No. CISS-2012054187).

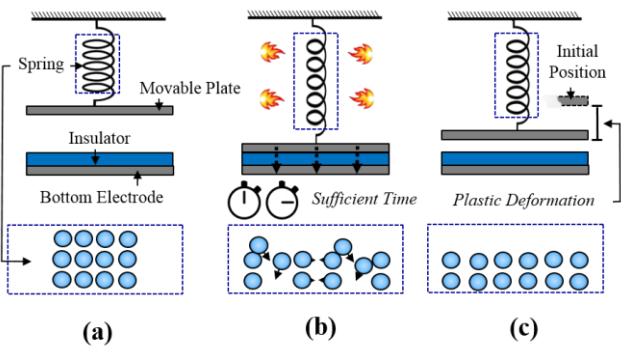


그림 1 (a). 초기 상태에서의 MEMS 스위치. (b). 정전기력을 가해 Creep 현상을 시작한 다음, 줄열을 가해 가속. (c). 충분한 시간이 지난 후에 가했던 정전기력과 줄열을 제거해 주게 되면 영구적으로 변형이 되어 상/하판 간격이 감소.

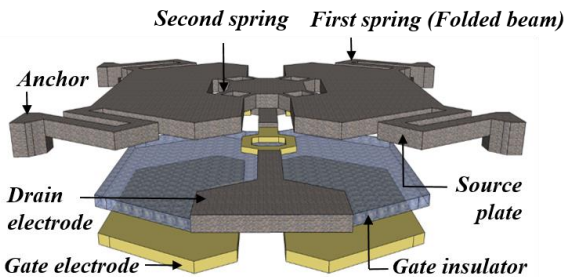


그림 2. 제안된 방법을 통해 동작 전압을 줄이기 위한 실험에 사용된 MEMS 스위치의 모식도.

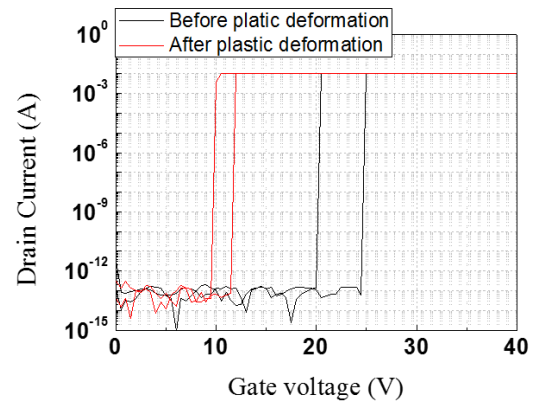


그림 3. 영구 변형을 통해 상/하판 간격을 줄이기 전 후의 I-V 특성.

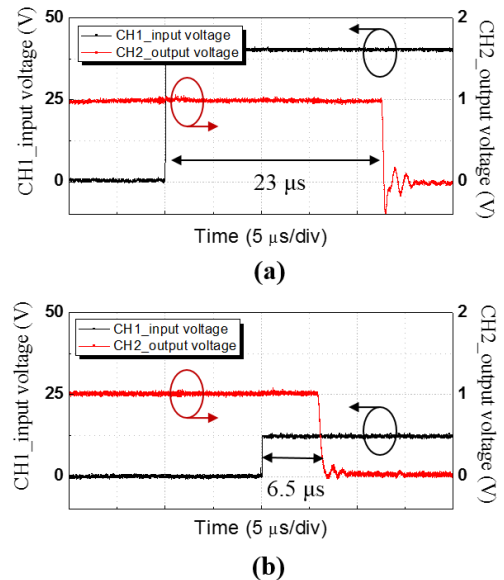


그림 4 (a). 영구변형을 통해 상/하판 간격을 줄이기 전의 스위칭 속도 (동작전압 40 V). (b). 영구변형을 통해 상/하판 간격을 줄인 후의 스위칭 속도 (동작전압 12 V).

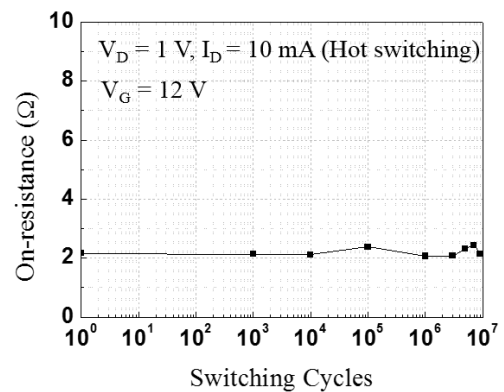


그림 5. 영구변형을 통해 상/하판 간격을 줄인 후의 신뢰성 (동작전압 12 V).