

Carbon nanotubes network contact lubrication 의 산화에 의한 MEMS 스위치의 접촉 수명 변화 연구

^{1†}조은환, ^{2†}서민호, ²윤준보*, ¹김종백*
¹연세대학교 기계공학과, ²KAIST 전기 및 전자공학과
 E-mail: kimjb@yonsei.ac.kr, jbyoon@kaist.ac.kr
[†]These authors contributed equally.

Oxidation effect of carbon nanotubes networks contact lubrication on the lifetime of MEMS switch

^{1†}Eunhwan Jo, ^{2†}Min-Ho Seo, ²Jun-Bo Yoon*, ¹Jongbaeg Kim*
¹ School of Mechanical Engineering, Yonsei University, ² School of Electrical Engineering, KAIST

Abstract

This paper presents contact reliability improvement of MEMS switch with carbon nanotube network (CNTs-network) contact lubrication. It is shown that remarkably improved lifetime of a proposed MEMS switch is attributed to widen contact area due to the compressibility of CNTs-networks covered on bottom-contact electrode. We also investigated a change in the lifetime between air and nitrogen (N₂) environment under hot-switching condition to know the effect of oxidation on reliability of the proposed MEMS switch. As a results, MEMS switch covered by CNTs-networks showed more than 100 times longer mechanical lifetime under hot-switching condition in N₂, compared to a MEMS switch without CNTs (gold contact).

Keywords: MEMS (멤스), Switch (스위치), Carbon nanotube (탄소나노튜브), Reliability (신뢰성)

1. 서론

CMOS transistor 가 가지는 높은 subthreshold leakage current 와 낮은 on-off ratio 등 극복하기 위한 대안으로써 MEMS 스위치에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. MEMS 스위치 (microelectromechanical system switch)는 CMOS transistor 와 달리 electric field 나 radiation 등의 외부 환경적인 요소에 대한 영향이 적으며 높은 on-off ratio 와 near zero leakage current 등의 장점을 가진다. 하지만 MEMS 스위치는 material transfer, local field emission, oxidation, stiction 등 물리적 접촉에 의한 접촉면의 변형 및 손상으로 인해 제한된 접촉수명을 가진다. 이러한 MEMS 스위치의 낮은 접촉수명을 향상 시키기 위하여 스위치의 구조, 접촉 물질, 회로를 변경하는 등의 많은 연구들이 진행되어 왔다.

본 연구진은 이전 연구에서 압축 가능한 carbon nanotubes networks(CNTs-networks)을 contact lubricant 으로 이용하여

낮은 adhesion force 와 넓은 접촉면적을 가지는 MEMS 스위치를 제작하였고 대기 중 hot-switching 조건에서 제작된 스위치의 수명이 10 배이상 향상된 것을 실험적으로 보인 바 있다 [1]. 본 연구에서는 air 와 N₂에서의 CNTs-networks 의 유무에 따른 hot-switching (1 μA) 접촉 수명을 비교하여 oxidation 에 따른 접촉 수명의 차이를 확인하였다.

2. 본론

2.1. 압축성을 가지는 CNTs-networks MEMS 스위치

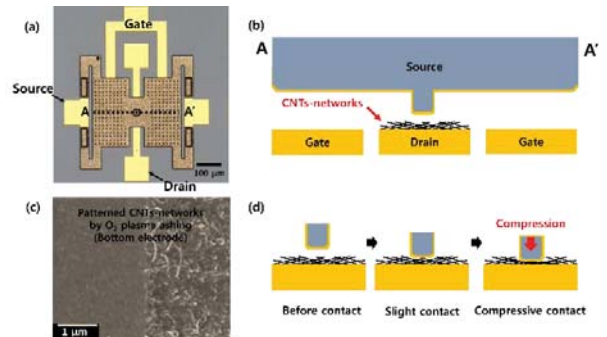


그림 1. (a) 제작한 스위치의 optical image 와 (b) schematic of cross section A-A', (c) bottom 접촉 전극에 형성된 patterned CNTs-networks 의 SEM image 및 (d) CNTs-networks 의 compressive contact 에 대한 schematic

제안한 MEMS 스위치는 optical image 은 그림 1(a)와 같다. 제작된 스위치의 bottom 전극은 SiO₂ 기판 위에 Cr/Au (10 nm/ 100 nm)를 evaporation 을 통해 증착하여 스위치의 전극을 형성하였다. CNT dispersion solution 을 dip-coating 하여 전면에 CNTs-networks 를 형성 하고 O₂ plasma 를 통해 그림 2(b, c)와 같이 접촉부 drain 전극을 제외한 나머지 부분의 CNTs 를 제거하였다. 이후 photolithography 를 통해 스위치의 구조물 제작을 위한 photoresist mold 를 제작하였고 top contact layer 와 전기도금을 위한 seed

layer 로써 Au(100 nm)를 증착하였고 nickel 전기도금(7 μm)을 통해 MEMS 스위치를 제작하였다. 제작된 스위치는 gate 와 drain 전극간의 전압 차에 의한 정전기력에 의해 작동하며 그림 1(d)와 같이 CNTs-networks 가 gate 전극에 인가되는 전압에 따라 접촉 이후에도 압축되어 넓은 접촉면적과 낮은 접촉저항을 가질 수 있다.

2.2. 측정결과

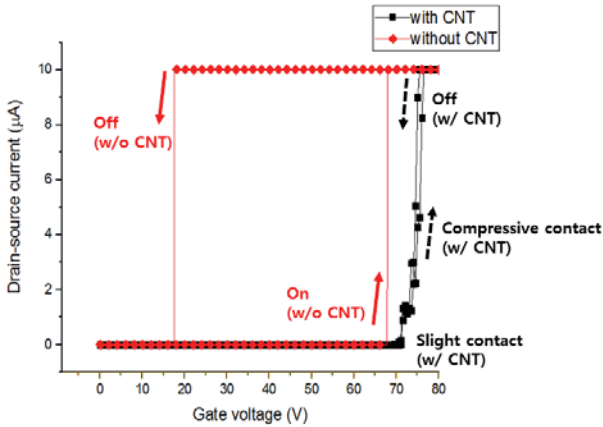


그림 2. CNTs-network MEMS switch 의 I_{DS} - V_G sweep curve

그림 2 와 같이 I_{DS} (drain-source current) - V_G (gate voltage) sweep 실험을 통해 제안한 스위치의 on 전압과 off 전압을 측정하였다. CNT 가 스위치에 미치는 영향을 확인하기 위하여 CNTs-networks 가 형성된 스위치(CNTs - Au 접촉)와 형성되지 않은 스위치 (Au-Au 접촉)의 2 종류로 제작하였고 소자의 특성을 측정하였다. 제작된 스위치의 경우 72 V(with CNTs)와 68 V(without CNTs)에서 접촉하였고 72 V(with CNTs)와 17 V(without CNTs)에서 스위치가 off 되었다(V_{DS} : 10 mV). CNTs-networks 가 형성된 스위치의 경우 72 V 에서 slight contact 이 이루어지며 gate 전압이 증가함에 따라 CNTs-networks 가 압축되면서 접촉면이 넓어짐에 따라 스위치의 on 저항이 최소 5 Ω 까지 낮아 질 수 있음을 실험적으로 확인하였다.

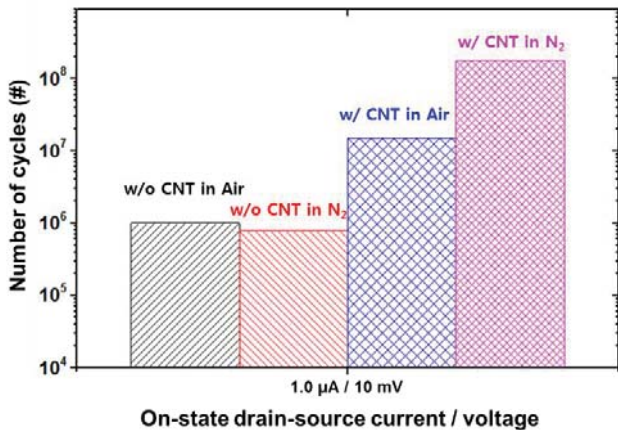


그림 3. CNTs-networks 유무에 따른 MEMS 스위치의 air 와 N₂에서의 hot-switching 접촉 수명 비교. (V_{DS} : 10 mV, V_G : 90 V, On-off frequency 1 kHz, I_{DS} compliance: 1 μA)

제작된 MEMS 스위치의 oxidation 이 소자의 수명에 미치는 영향을 확인하기 위하여 N₂와 air에서 접촉 실험을 수행하였다. 그 결과 CNTs-networks 가 형성된 스위치는 N₂ 상압의 hot-switching 환경에서 최대 1.9 X 10⁸ cycles 의 수명을 가지며, 대기 중 스위치의 접촉 수명과 비교하여 10 배 (with CNTs in air), 190 배 (without CNTs in air or N₂) 이상 향상 되는 것을 확인하였다.

3. 결론

본 연구진은 이전 연구에서 압축성을 가지는 CNTs-networks 을 contact lubrication 으로 이용한 CNTs-Au 접촉 MEMS 스위치를 제안하였고, 이로 인해 hot-switching 환경에서 접촉 수명이 향상됨을 실험적으로 확인한 바 있다. 본 연구에서는 제안한 스위치의 hot-switching 수명을 N₂와 대기 중의 두 가지 환경에서 비교하여 CNTs-networks 의 유무와 oxidation 에 따른 접촉 수명 차이를 확인하였다. 그 결과 N₂ 상압 hot-switching 환경(I_{DS} : 1 μA)에서 CNTs-networks 가 형성된 스위치가 최대 1 억 9 천만번 작동하는 것을 실험적으로 확인하였고 이는 대조군 (without CNTs)과 비교하였을 때 최대 190 배 이상의 접촉 수명을 가지는 것을 확인하였다. 이를 통해, 제안된 MEMS 스위치의 경우 수명에 지배적인 영향을 미치는 인자는 CNT 의 산화 임을 실험적으로 보였으며, 이에 따른 N₂ packaging 효율성을 입증하였다.

사사

이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2015R1A2A1A01005496)

참고 문헌

1. Min-Ho Seo et al., Carbon nanotubes network contact lubrication for highly reliable MEMS switch, 2017 IEEE 30th international Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS), Las Vegas, (Jan, 2017)