

MEMS형 RF Switch 구조물 제작

Fabrication of MEMS Type RF Switch Structure

구찬규, 김홍락*, 김영덕*, 정우철*, 김동수*, 남효덕

(Chan-Kyu Ku, Heung-Rak Kim*, Young-Duk Kim*, Woo-Chul Jung*, Dong-Su Kim*, Hyo-Duk Nam.)

Abstract

This paper presents the structures for a CPW shunt RF switch using MEMS(Micro Electro Mechanical System). Recent development in MEMS technology has made the design and fabrication of micro-mechanical switches as new switching elements. The micro-mechanical switches have low insertion loss, negligible power consumption, and good isolation compared to semiconductor switches. The fabricated structure shows an insertion loss of 2dB at 20GHz When a bias voltages of 12V is apply.

Key Words : CPW, RF MEMS

1. 서 론

통신용 RF 스위치는 대부분 반도체 FET 나 PIN diode를 주로 사용하였으나, 이러한 RF Switch는 무선통신의 주파수 대역의 증가로 인하여 반도체로 제작되는 스위치에서 한계성이 나타나고 있다. 이러한 문제점의 해결을 위하여 최근 MEMS 기술을 이용하여 저손실, 저소비 전력의 구조를 지니는 스위치 개발이 활발하게 진행되고 있다. 이런 RF 스위치들은 Filter나 Phase Shifter로 응용되고 있다. 일반적으로 RF MEMS 스위치는 정전기력, 열전력, 자기력을 이용하여 만든 구동방식이 대부분이다. 본 논문에서는 정전기의 구동방식을 이용한 스위치의 구조물을 제작했으며, 구조는 membrane형을 선택하여 이의 구보물을 제작하고 향후 유전체를 삽입하여 RF 스위치로의 가능성을 확보하고자 한다.

2. 실험

2.1 구동 원리 및 설계

Fig. 1과 같이 membrane 구조를 갖는 shunt switch는 electrostatic에 의한 구동 전압의 식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$V_p = \sqrt{\frac{8K_s h_0^3}{27 \epsilon_0 W L}}$$

위 식에서 K_s 는 스프링상수, W 는 전송선의 폭, L 은 membrane의 길이이며, h_0 는 전송선과 membrane과의 거리이다.

Fig. 1에서와 같이 스위치가 off, on 일때의 캐패시턴스 식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$C_{off} = \frac{1}{\frac{h_d}{\epsilon_d \epsilon_0 A} + \frac{h_{air}}{\epsilon_0 A}}$$

$$C_{on} = \frac{\epsilon_d \epsilon_0 A}{h_d}$$

h_d 는 유전체의 두께, h_{air} 는 유전체와 membrane의 거리, A 는 membrane과 전송선이 겹쳐진 면적이며 ϵ_d 는 유전체의 두께이다.

영남대학교

* : 포항산업과학연구원

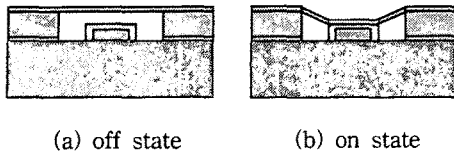


Fig. 1. Off and On switching states

스위치의 on, off 비는 다음 식과 같다.

$$\frac{Z_{off}}{Z_{on}} = \frac{C_{on}}{C_{off}} = \frac{\epsilon_d h_{air} + h_d}{h_d}$$

이론적인 cut-off frequency는 다음과 같은 방정식에서 추정할 수 있다.

$$f_{cut-off} = \frac{1}{2\pi R_{on} C_{off}}$$

정전기력에 의해 스위치를 구동하고 유전체의 유전율에 의해 캐패스터 값의 변화를 줄 수 있기에 원하는 스위치를 설계할 수 있다.

2.2 구조물 설계

구조물은 membrane에 증점을 두고 설계를 하였는데 두께에 대한 구조와 전송선과 membrane이 겹쳐지는 부분의 구조에 대해서 많은 설계를 하였는데 이것은 향후 유전체를 삽입하였을 경우를 대비하여 유전율을 높여 스위치의 on, off 비를 높여주고자 하였다. Fig. 1에서 이러한 것을 만족시키기 위해서 hinge의 구조를 여러 가지로 변형하여 설계하였다.

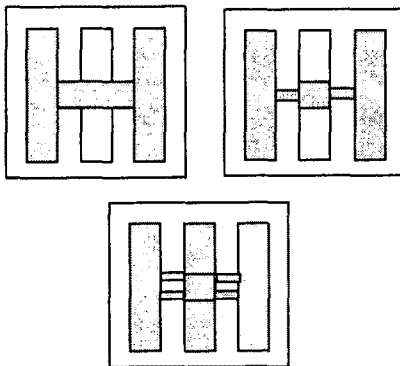


Fig. 2. Schematic structure hinge

2.3 실험공정

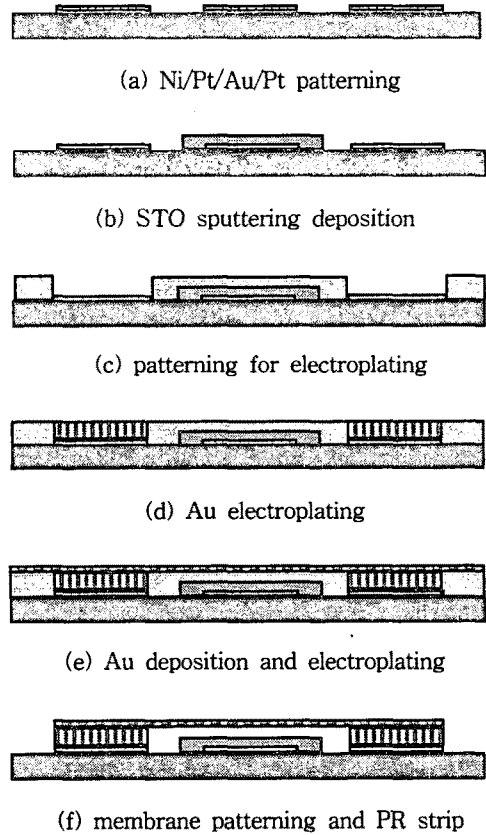


Fig. 3. Fabrication process of RF MEMS Switch

본 공정은 n-type Si 웨이퍼 샘플을 20mm*20mm로 자른 다음 황산과 과산화수소에 30분간 세척을 하고 아세톤과 메탄올에 담겨서 유기물을 제거하였다. 그리고 Si 웨이퍼에 건식 산화로 15분간 하고 습식 산화로 280분간 하여 산화막을 1 μ m로 성장하였다. Fig. 1에서는 다층 박막공정을 하기 위해 PR(AZ9260)을 5000rpm으로 도포하고 soft baking을 110 $^{\circ}$ C에서 110초 동안 하였다. 전송선 상에 손실을 줄이고 skin effect를 고려하여 스퍼터링으로 다층박막(Ni/Pt/Au/Pt) 전송선을 증착하였다. Ni(100 A)은 산화막과의 접착성을 높이기 위해 사용하였고 또 삽입손실을 생각해서 Au(1000 A)를 사용했으며 유전체 박막을 올리기 위해서 Pt(300 A)를 증착시켰다. 이 공정에서는 lift-off 공정을 사용하여 패턴을 하였으며 높은 PR(AZ9260)을 사용하고 초음파로 3분간 세척을 하여 깨끗한 패턴을 형성하였다.

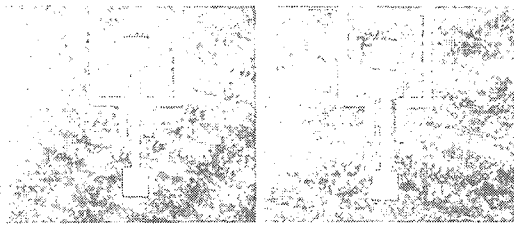


Fig. 4. lift-off patterning

Fig. 3 (b)에서 향후 증착할 STO 박막은 스퍼터 링으로 증착 후 PR패턴을 해서 식각을 할 수 있으며, 열처리는 STO의 유전율이 열처리 온도에 따라 많은 변화가 있기 때문에 Au의 확산을 고려해서 저온에서 하여야 한다.

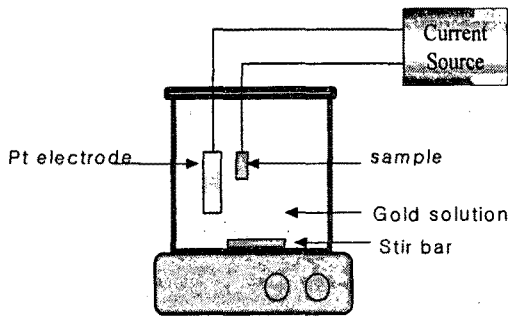


Fig. 5. Au electroplating

Fig. 5에서 Pt전극에는 양극을 걸어주고 sample에는 음극을 걸었다. post공정은 여러 구조를 생각해서 한번에 여러 패턴을 전기도금 하기 위해 각 post가 될 부분을 연결하여 설계하였다. 정확한 도금의 두께를 제어하기 위해서 Fig. 5와 같은 도금조에서 정확한 전류밀도를 계산하고, 도금시간 조절과 전극과의 거리를 생각하여 도금을 하였다.

Fig. 3(c)에서는 AZ9260을 사용해서 $4\mu\text{m}$ 높이로 조절하여 patterning을 하였다. Fig. 3(d)에서는 정확한 전류를 제어하기 위해 current source를 사용해서 0.5mA 전류를 가해 3시간에 걸쳐 도금을 하였다.

전류는 더 높게 걸어줄 수 있었으나 막질을 생각해서 저 전류에 오랜 시간을 걸어주었다.

Fig. 6은 전기도금한 post의 전자현미경 사진이다.

Fig. 3(e)에서 membrane은 thermal evaporate 하여 Au를 증착 시키고 electroplating으로 $1\mu\text{m}$ 두께의

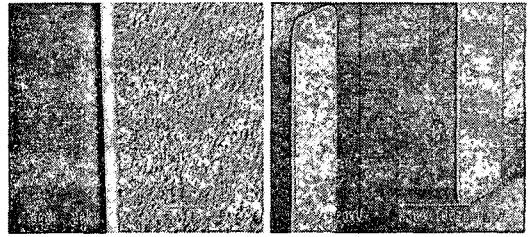


Fig. 6. electroplating post

박막을 증착 하고 patterning을 하여 Au Etching을 하여 membrane을 제작하였다.

Fig. 3(f)에서 PR층은 wet etching시 stiction을 고려하여 아세톤, 메탄올, HF 7100, IPA 순으로 etching을 하였다.

Fig. 3(f)에서 post와 transmission line과의 DC 전압을 가하여 electrostatic에 의한 switch의 구동여부를 측정한다. 저 전력부터 서서히 고 전력으로 측정하여 여러 구조에 따른 측정을 한다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 7은 제작된 RF switch의 전자현미경 사진이다. 제작된 전송선의 두께는 $0.17\mu\text{m}$, membrane의 두께는 $1.1\mu\text{m}$ 이다. 여기서 희생층으로 사용된 PR은 완전히 제거되었으며 post 높이는 $4\mu\text{m}$ 이고 membrane은 완전히 떠 있는 구조를 하고 있다.

여러 가지 구조의 membrane을 제작하기 위해 lift-off 과 etching공정을 사용하여 좋은 패턴을 만들었다.

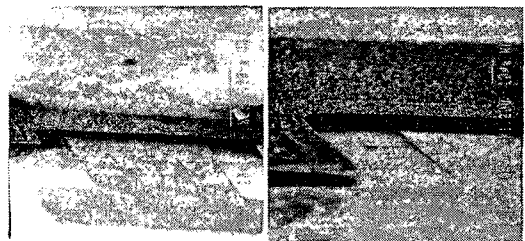


Fig. 7. Close-up view membrane of the fabricated RF MEMS switch structure

Fig. 8은 주파수에 따른 삽입손실을 나타냈다. 그림에서 보이는 것과 같이 20GHz에서 약 2dB의 손실을 보여주고 있다. Fig. 9는 반사손실을 나타내고 있다. 이는 향후 유전체의 증착이 있으면 RF MEMS 스위치로 응용이 가능하다.

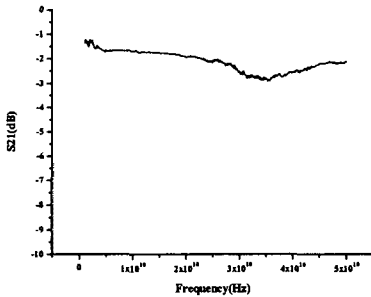


Fig. 8. Insertion loss

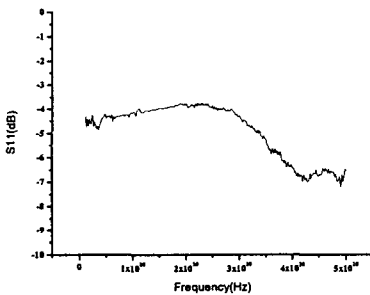


Fig. 9. Return loss

4. 결론

본 논문에서는 마이크로파에 응용을 위하여 낮은 구동 전압과 삽입 손실을 갖는 RF MEMS 스위치 구조물을 제작하였다. 저전압에서 구동하는 스위치를 개발하기 위해서 다양한 구조의 membrane 및 제작공정을 완벽히 확보하였다. 특히, electroplating에서 기존의 방법과는 다르게 여러 구조의 샘플을 한번에 증착 시킬 수 있다.

향후 유전체의 공정을 확보하면 RF switch를 제작하여 Filter와 Phase shift에 응용 가능할 것이다.

참고 문헌

[1] Jae Y. Park , Geun H.Kim , Ki W. Cheong , Jong U. Bu, "Monolithically Integrated Micromachined RF MEMS capacitive Switch" Micromechanics section on Journal of Sensors and Actuat

ors, September,2000.

- [2] J.N Randall, C. Goldsmith, D.denniston, and T. H. Lin, "Fabrication of Micromechanical switch for routing radio frequency signals" Journal of vacuum Science and Technology, vol.B14,no 6 (1996),pp.3692-3696.
- [3] Lawrence E. Larson , Roy H.Hackett , Melissa A.Melendes, Ross F.Lohr "Micromachined Microwave Actuator(MIMAC)Technology - A new tuning Approach for microwave integrated circuits" IEEE Microwave and Millimeter-wave Monolithic circuits Symposium.
- [4] K.E. Peterson, "Micromechanical Membrane Switches on Silicon,"IBM J. Res. Develop , vol. 23 no. 4, pp 376-385, July 1979.
- [5] C. Goldsmith, T.H. Lin, B.Powers, W.R.Wu, and B. Norvell, "Micromechanical Membrane Switches for Microwave Application,"1995 IEEE MTT-s Int. Microwave Symp. Dig.,pp 91-94, May 1995.
- [6] H.D. Wu, K.F. Harsh, R.S. Irwin., W. Zhang, A.R. Mickelson, Y.C. Lee and J. B. Dobsa, "MEMS Designed for Tunable Capacitors," IEEE MTT,Baltimore MD, June 8-11, 1998.