

넓은 튜닝범위를 갖는 마이크로 구동 스위치 기반 MEMS 가변 용량기 MEMS Variable Capacitor with Micro Switching Actuator for Wide Tuning Range

*권지한, 정봉원, 백대현, 이재익, 은영기, #김종백

*J. Kwon, J. Jung, D. Beak, J. Lee, Y. Eun, #J. Kim(kimjb@yonsei.ac.kr)

연세대학교 기계공학과 나노기전시스템 연구실

Key words : Variable Capacitor, Tuning Capacitor, Micro Switch, Wide Tuning Range, Varactor

1. 서론

라디오 주파수(RF, Radio Frequency)의 무선 통신 시스템에 사용되는 용량기, 스위치, 인덕터와 같은 요소들에서 잡음과 간섭현상을 줄이기 위한 주파수 선택은 매우 중요하다. 전압 제어 발진기(VCO, Voltage Controlled Oscillator)에 나타나는 위상잡음은 LC 탱크의 선택도에 반비례 하기 때문에 높은 선택도를 가지는 주파수 선택용 수동 소자를 필요로 한다[1-2]. 마이크로머시닝 기술로 제작된 수동 소자들은 자체 공진 주파수 이상의 주파수 신호에 반응하지 않는다는 장점으로 인해[2], 마이크로머시닝 기술을 이용하여 제작된 MEMS 가변 용량기가 많이 제작되어 발표 되고 있다. 이 중에서 표면 마이크로머시닝 기술을 이용하여 제작된 가변 용량기는 평행판의 간극에 의해서 용량의 한계가 결정 된다는 단점이 있고[2-3], 이를 극복하고자 벌크 마이크로머시닝 기술을 이용하여 정전기력으로 구동되는 가변 용량기에 관한 다수의 연구가 수행되기도 하였다. 구동부는 수평형 콤 드라이브로 구동하면서 용량변화는 평행판을 이용한 가변 용량기[4], 폴리머 경첩을 이용한 수직형 콤 드라이브 가변 용량기[5], 실리콘의 소성변화를 이용하여 구동하는 수직형 콤 드라이브 가변 용량기[6] 등이 발표 되었다. 하지만 정전기력을 통해서 구동되는 가변 용량기의 경우, 인가되는 전압이 매우 크다는 단점이 있다[4-6]. 최근에는 고세장비의 실리콘 구조를 수평형 콤 드라이브에 적용하여 가변 용량기의 구동 전압을 낮추려는 연구가 진행되었다[7]. 하지만 이 방법은 공정이 복잡하고 어렵다는 단점이 있다. 본 연구에서는 기존 연구들과 달리 평행판의 간극 외에 웨브론 구동기를 기반으로 하는 스위치를 통해 용량기의 용량 값을 크게 변화시켜 광범위한 튜닝이 가능한 MEMS 가변 용량기를 제안하고자 한다.

2. 광대역 튜닝을 위한 마이크로 구동 스위치 기반 MEMS 가변 용량기의 동작 원리

본 연구의 정전기적 마이크로 구동 스위치와 가변 용량기는 DSOI(Double Silicon On Insulator) 웨이퍼를 기반으로 설계, 제작 되었다. DSOI 는 기판 위에 각각 20 μm 두께인 두 층의 단결정 실리콘이 실리콘 산화막을 사이에 두고 분리되어 있다. 마이크로 구동 스위치 기반 가변 용량기는 Fig.1 과 같이 두 개의 실리콘 층으로 이루어져, 튜닝 구동기(Tuning actuator), 스위치 구동기(Switching actuator) 그리고 가변 용량기로 구성된다. 가변 용량기는 콤 어레이(Comb array) 형태로 두 층의 실리콘 중, 상층 실리콘만을 회로로 연결하여 고정 전극(Fixed electrode)과 동적 전극(Moving electrode) 사이의 용량을 측정한다. 가변 용량기의 동적 전극이 튜닝 구동기에 의해 밀리면서 동적 전극과 고정 전극의 거리가 가까워져 용량이 증가하는 구조이다. 제작된 가변 용량기의 주사 전자 현미경(SEM, Scanning Electron Microscope) 사진이 Fig. 2(a)에 나타나 있다. 튜닝 구동기는 웨브론 구동기(Chevron actuator)로 상층 실리콘에만 전압을 인가해 주며, 웨브론에 의해 가변 용량기의 동적 전극이 앞으로 밀려 용량이 변화한다. 튜닝 구동기의 웨브론은 인가된 전압에 의해서 이동거리 조절이 가능하다. 웨브론의

구동전압이 가변 용량기의 전기용량에 영향을 미치지 않도록, 가변 용량기의 상층 실리콘 동적 전극과 튜닝 구동기의 웨브론의 접촉 부분이 분리되어 있어 전기적으로 절연된 상태이다(Fig. 2(b)).

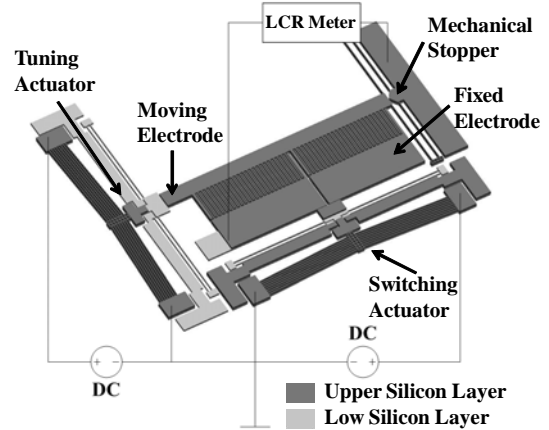


Fig. 1 Schematic view of the MEMS Variable Capacitor with Micro Switching Actuator

튜닝 구동기와 가변 용량기의 동적 전극은 초기에 4 μm 떨어져 있다. 튜닝 구동기의 하층 웨브론은 전압이 인가되지 않지만, 상층 웨브론에 전압이 인가될 때 생기는 열에 의한 열전달 현상에 의해 앞으로 전진한다. 스위치의 구동은 튜닝 구동기와 마찬가지로 웨브론에 의해서 작동한다. 전기적 절연을 위해서 가변 용량기와 스위치의 접촉 부분이 4 μm 떨어져 있고, 또한 웨브론과 스위치의 구조물이 4 μm 떨어져 있다(Fig.2(c)). 스위치 구동기에 전압을 인가하면 스위치 구조물이 앞으로 밀려 가변 용량기와 연결된다. 스위치와 가변 용량기의 접촉부분은 가로 100 μm , 세로 100 μm 로 디자인 하였다. 또한 가변 용량기의 튜닝 구조물의 고정 전극과 동적 전극 사이의 초기 간격은 5 μm 의 간격을 가진다(Fig.2 (d)).

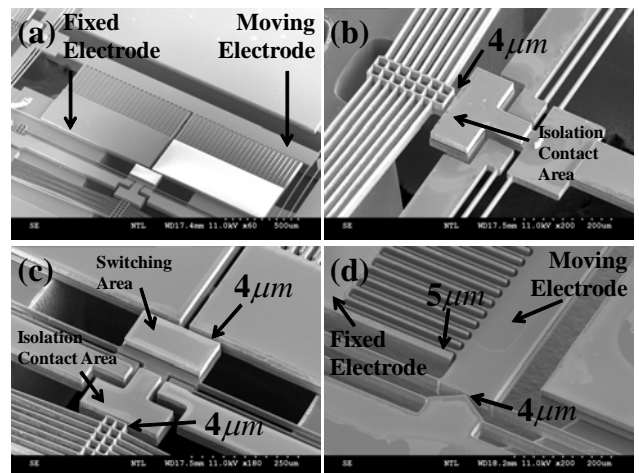


Fig. 2 SEM image of the MEMS Variable Capacitor (a) Total Variable Capacitor (b) Tuning actuator (c) Micro Switch (d) Gap between the moving and fixed electrodes

3. 제작공정

DSOI 웨이퍼는 총 두께가 425 μm 이고 각각 20 μm 두께의 두 개 층 실리콘과 두 개의 1 μm 산화층으로 구성되어 있다(Fig. 3(a)). 웨이퍼의 전면과 후면에 산화층을 패턴 한 뒤, 전면에 두꺼운 PR 을 코팅 한 후 패턴을 한다(Fig. 3(b)). RIE(Reactive Ion Etching) 공정을 통해서 PR 과 실리콘산화막을 자가 일치 시키고(Fig. 3(c)), PR 을 마스크로 사용하여 첫 번째 DRIE(Deep Reactive Ion Etching)와 RIE 공정을 차례로 수행하여 디바이스의 상층 실리콘과 실리콘 산화층을 제거 하였다(Fig. 3(d)). 두 번째 DRIE 공정을 통해 하층 실리콘 층을 식각하고 PR 을 제거한다(Fig. 3(e)). 세 번째 DRIE 공정으로 실리콘산화막 패턴이 없는 상층 실리콘을 제거한다(Fig. 3(f)). 디바이스를 움직이기 위해 후면을 DRIE 공정을 통해 제거한다(Fig. 3(g)). 마지막으로 불산을 통해 산화층을 제거하여 두 개의 실리콘층 구조를 가지는 가변 용량기 소자를 얻을 수 있다(Fig. 3(h)).

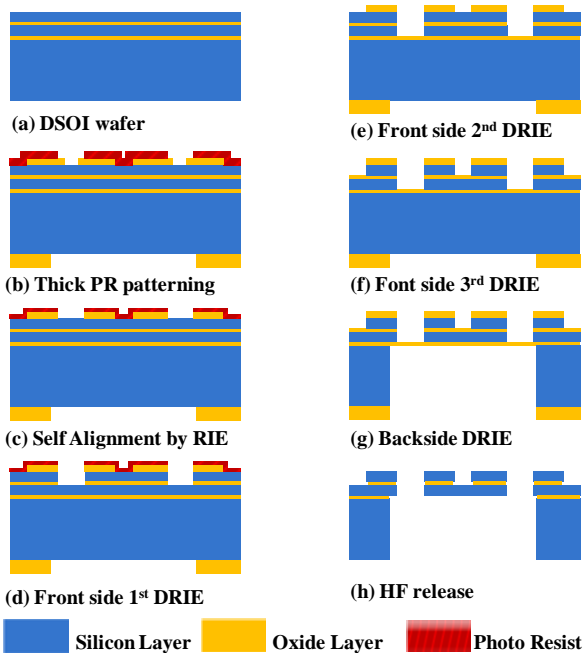


Fig. 3 Fabrication process flow

4. 측정 결과 및 검토

제작된 가변 용량기를 측정하기 위해서 HIOKI3532-50 LCR HITESTER 를 사용하였다. 스위치와 튜닝 구조물은 각각 다른 전압을 인가하였고 전기용량의 측정은 5MHz 에서 수행하였다. Fig.4(a)는 스위치 기반으로 작동하는 가변 용량기의 성능을 보여준다. 초기 상태의 튜닝 구동기의 웨브론은 가변 용량기와 4 μm 떨어져 있기 때문에, 웨브론과 가변 용량기의 동적 전극이 접촉하기 전까지는 용량의 변화가 없다. 스위치 접촉이 없는 경우, 용량은 초기 1.045pF 에서 1.588pF 까지 증가하였다. 전기용량의 증가는 예상했던 대로 2 차 함수의 형태를 보여주며 증가하였다. 가변 용량기는 이동 전극의 움직임을 막아주는 기계적 정지기에 의해서 구속을 받아 Fig.4(a)의 그래프의 마지막에는 용량 변화량이 감소한다. 튜닝 구동기의 웨브론에 인가된 전압이 5V 인 상황에서 마이크로 스위치의 웨브론에 12V 전압을 인가하여 구동 할 경우, 가변 용량기의 용량은 1.840pF 까지 증가하였다. 이때 가변 용량기의 용량 증가비는 1.76 이었다. 또한 튜닝 구동기와 스위치의 인가되는 전압을 조절하여 가변 용량기의 연속적인 용량의 변화가 가능하다. 튜닝 구동기의 인가된 튜닝 전압이 7V 일 때 스위치를 구동시키면, 튜닝 전압을 떨어뜨려도 스위치에 의한 효과로 인하여 전기용량이 증가한다. 이러한 경향성을 Fig.4(b)에 나타내었다.

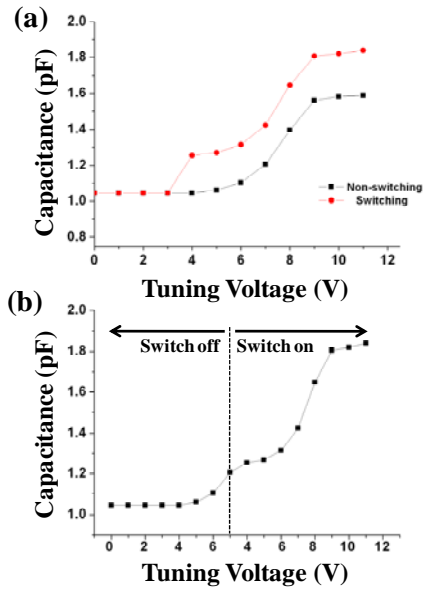


Fig. 4 Capacitance vs. voltage tuning curve (a) C-V Tuning Curve Non-switching and Switching (b) Continuous C-V curve

5. 결론

기존의 MEMS 가변 용량기는 용량기의 구조의 변화를 이용하거나 단일 구조물의 움직임을 통해서 용량을 변화시켰으나 본 연구에서는 마이크로 스위치를 이용하여 용량기의 기본 용량을 증가시켜 MEMS 가변 용량기의 성능을 증가시켰다. 또한 웨브론 열구동기를 이용하여 스위치 구조물이 접촉된 상태에서도 튜닝 구조물이 튜닝 가능하여 두 가지 변수를 조절함으로써 원하는 전기용량을 연속적으로 튜닝할 수 있게 하였다. 향후 여러 개의 스위치를 연결 할 경우 더 큰 용량 변화를 확보 할 수 있는 가능성을 보여주었다.

후기

이 연구는 서울시 신기술 연구개발 지원사업(11032)의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. D. J. Young, B. E. Boser, "A Micro-Machined Variable Capacitor for Monolithic Low-Noise VCOs," Technical Digest of Solid State Sensors and Actuators Workshop, 86-89, 1996
2. Seonho Seok, Kukjin Chun. et al, "A novel linearly tunable MEMS variable capacitor," Journal of Micromechanics and Microengineering, **12**, 82-86, 2002
3. H Nieminen, V Ermolov. et al, "Microelectromechanical capacitors for RF applications," Journal of Micromechanics and Microengineering, **12**, 176-186, 2002
4. Zhihong Li, Norman C. Tien, "A High Tuning-ratio Silicon-micromachined Variable Capacitor with Low Driving Voltage," Solid-State Sensor, Actuator and Microsystems Workshop, 2002
5. H. Nguyen, D. Hah, P. Patterson. et al, "A Novel MEMS Tunable Capacitor Based on Angular Vertical Comb Drive Actuators," Technical Digest of Solid State Sensors and Actuators Workshop, 277-280, 2002
6. Jongbaeg Kim, Liwei Lin, "A Mems Tunable Capacitor Based on Plastically deformed Vertical Comb," ASME International Mechanical Engineering Congress and Exhibition, **2**, 2004
7. Rais-Zadeh, M. Samaroo, A.K. et al, "Low-voltage Large-value Tunable Capacitors Using Self-aligned HARSS," Technical Digest of Micro Electro Mechanical Systems, 319-322, 2008