

다결정실리콘 표면 미세가공 기술을 이용한 초소형 기계식 스위치의 설계 및 제작

論 文

49C-9-9

Design and Fabrication of a Micromechanical Switch Using Polysilicon Surface Micromachining

蔡敬洙* ** · 韓承岬*** · 河鍾珉* · 文盛昱[§] · 朴政浩^{§§}

(Kyoung-Soo Chae · Seung-Oh Han · Jong-Min Ha · Sung Moon · Jung-Ho Pak)

Abstract - A micromechanical switch that can be used as a logic gate is described in this paper. This switch consists of fixed input electrodes, an output electrode, Vcc/GND electrodes, and movable plates suspended by crab-leg flexures. For mechanical switching of an electrical signal, a parallel plate actuator which comes in contact with output electrode was used. Provided that movable plates are connected to Vcc and a low input voltage(ground signal) is applied to the fixed input electrodes, the movable plates are pulled by an electrostatic force between the fixed input electrodes and the movable plates. The proposed micromechanical switch was fabricated by surface micromachining technology with 2 μ m-thick poly-Si and the measured threshold voltage for ON/OFF switching was 23.5V.

Key Words : MEMS, Logic Gate, Micromechanical Switch, Actuator, Surface Micromachining

1. 서 론

최근 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술이 발전함에 따라 반도체 공정을 이용하여 기존의 기계식 스위치를 초소형으로 실리콘 기판에 제작하는 것이 가능하게 되었다. 이와 같이 MEMS 기술을 이용한 초소형 기계식 스위치는 기존의 기계식 스위치에 비해 소형이면서 전력 소모가 적고 다른 IC(Integrated Circuit)와 동일 기판에 집적될 수 있기 때문에 광스위치[1], RF용 스위칭 소자[2], 초소형 릴레이[3] 등 많은 분야에서 연구가 진행되고 있다. 그리고 초소형 기계식 스위치의 입·출력단에 스위치의 ON/OFF 동작을 제어하는 제어단을 추가하면 기존의 MOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor)와 같은 전자 소자의 스위칭 기능을 대체할 수 있기 때문에 최근에는 제어단이 추가된 초소형 기계식 스위치를 사용한 논리 연산기의 구현에 관한 연구도 진행되고 있다[3,4].

초소형 기계식 스위치는 MOSFET에 비해 넓은 온도 영역에서 사용될 수 있으며 전류가 흐르는 채널 단면적이 넓기 때문에 초소형 기계식 스위치를 사용한 논리 연산기는

기존의 MOSFET로는 사용이 어려운 저온 또는 고온 환경이라든가 큰 동작 전류를 필요로 하는 응용분야에 활용될 수 있다[3,4].

현재까지 발표된 논리 연산용 초소형 기계식 스위치의 구동 방식으로는 열 구동[5], 전자기 구동[6], 정전 구동[7,8]이 제시되고 있는데 열 구동의 경우 동작 속도가 느리고 다른 구동 방식에 비해 전력 소모가 많으며 구동기가 크다는 단점을 가지고 있으며 전자기 구동 방식의 경우 전력 소모가 크고 자석 실장에 따른 조립 공정의 복잡성이 단점으로 지적되고 있다. 그러나 정전 구동의 경우 비교적 동작 속도가 빠르며 전력 소모가 적고 다결정실리콘을 이용한 표면 미세가공 기술로 간단히 제작할 수 있으며 IC 소자에 사용되는 바이어스 전원을 사용할 수 있는 이점을 갖는다. 따라서 본 논문에서는 정전 구동형 초소형 기계식 스위치를 제안하고 다결정실리콘 표면 미세가공 기술로 제작하여 논리 소자로의 응용 가능성을 확인하였다[9].

2. 초소형 기계식 스위치의 구조 및 동작 원리

본 논문에서 제안된 초소형 기계식 스위치의 기본 구조를 그림 1에 나타내었다. 그림 1(a)에서 보는 바와 같이 제안된 스위치는 입력 신호가 인가되는 고정 전극(fixed electrode), 출력 전극(output electrode), 가동 구조물을 지지하는 꺾은 보형 지지빔, 지지빔을 통하여 Vcc 또는 접지에 연결되는 가동 전극(moving electrode), 그리고 Vcc/접지 전극으로 구성되어 있다.

제안된 스위치에서 Vcc 혹은 접지에 연결된 가동 전극은

* 準 會 員 : 高麗大 마이크로머시닝學科 碩士課程

** 準 會 員 : KIST 마이크로시스템 研究센터 研究員

*** 正 會 員 : 高麗大 電氣工學科 博士課程

§ 正 會 員 : KIST 마이크로시스템 研究센터 先任研究員

§§ 正 會 員 : 高麗大 電氣工學科 副教授 · 工博

接受日字 : 2000年 6月 19日

最終完了 : 2000年 8月 28日

입력 전압에 따라 동작하여 출력전극에 Vcc 혹은 접지 신호를 전달한다. 예를 들어 가동 전극이 Vcc에 연결된 경우 입력 전극에 접지 신호가 인가되면 가동 전극이 정전 인력에 의해 출력 전극 쪽으로 움직여 그림 1(b)와 같이 접촉된 부분을 통하여 Vcc 전압이 출력된다. 그리고 Vcc 입력신호가 고정전극에 인가되면 고정전극과 가동전극 사이에 전압차가 존재하지 않아 가동 구조물이 동작하지 않는다. 반대로 가동 전극이 접지에 연결된 경우에는 입력 전극에 Vcc 전압이 인가되는 경우에만 가동 구조물이 움직여 출력 전극과 접촉하면서 접지 신호가 출력된다. 그림 2(a)는 동작 실험 전의 가동 전극과 출력 전극을 확대한 사진으로 가동 전극과 출력 전극에 접촉이 발생하지 않은 상태이고, (b)는 동작 실험시 가동 전극과 고정 전극 사이에 정전 인력이 발생하여 가동 전극과 출력 전극이 접촉된 사진 모습이다.

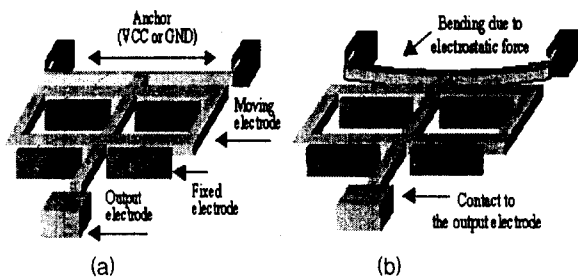


그림 1 제안된 기계식 스위치의 개략도; (a) 동작전 (b)동작시
 Fig. 1 The schematic view of the proposed micromechanical switch; (a) Resting state (b) Operating state

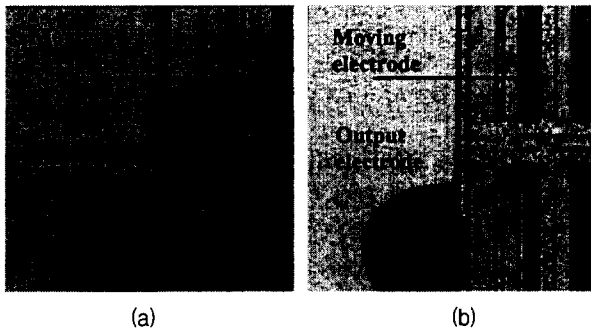


그림 2 출력전극과의 접촉 전과 후 (CCD 촬영 사진); (a) 접촉 전 (b) 접촉 후
 Fig. 2 Before and after come in contact with output electrode (the picture of CCD camera); (a) Before come in contact (b) After come in contact

3. 동작 모델링 및 동작 예측

그림 1에 제안된 기계식 스위치는 입력 신호가 인가되는 고정 전극과 Vcc/접지 전극에 연결된 가동 전극 사이의 전압차로 인해 발생하는 정전 인력에 의해 동작한다. 따라서 제작될 스위치의 동작 예측을 위해서는 이러한 정전 인력에

대한 모델링이 선행되어야 한다.

그림 3의 (a)와 (b)는 각각 제안된 스위치의 지지빔과 정전 인력이 발생하는 고정 및 가동 전극을 간단히 표현한 것이다. 정상상태에서는 고정 전극과 가동 전극 사이에서 발생하는 정전 인력과 지지빔의 구부러짐에 의한 탄성 복원력이 같다고 가정하여 다음의 식을 얻는다.

$$K_x x = F_x \tag{1}$$

여기서 K_x , F_x 는 각각 '┌'자형 꺾은보 지지빔의 x 방향 강성과 전극들 사이에서 발생하는 x 방향 정전 구동력을 의미한다.

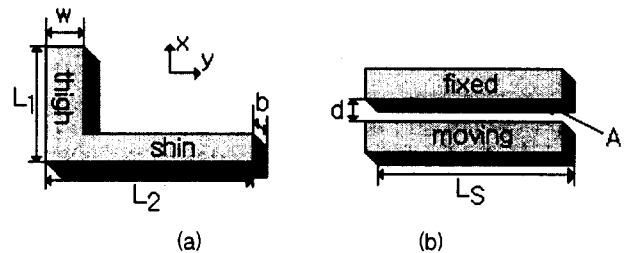


그림 3 지지빔 과 고정 및 가동 전극의 개략도; (a) 꺾은보 지지빔 (b) 고정 및 가동 전극
 Fig. 3 The Schematic view of suspending beam and fixed/moving electrode; (a) Crab-leg suspending beam (b) Fixed and moving electrode

'┌'자형 꺾은보 지지빔은 고정 축 방향 힘(axial force)을 감소시키기 위하여 사용되며, 지지하는 구조물의 선형적 운동을 가능하게 한다. 이러한 꺾은보 지지빔의 x 방향 강성 K_x 는 인가되는 힘이 고정 축에서 L 만큼 떨어진 곳에 집중될 경우

$$K_x = \frac{48EI_2}{L_2^3} \left(\frac{1+\nu}{4+\nu} \right) \tag{2}$$

와 같이 모델링된다[10]. 여기서 L_2 , I_2 , E 그리고 ν 는 각각 그림 3(a)의 '┌'자형 꺾은보 지지빔에서 shin의 길이, shin의 단면 이차모멘트, Young's modulus, 그리고 thigh와 shin의 강성비를 의미한다. 이때 강성비와 단면의 2차 모멘트는 다음과 같이 정의된다.

$$\nu = \frac{I_1 L_2}{I_2 L_1} \tag{3}$$

$$I_2 = \frac{bw^3}{12} \tag{4}$$

정전형 구동기에서 발생하는 정전 인력은 전압차가 존재하는 전극 사이에 저장된 에너지의 이동 방향에 대한 변화율을 의미하는데, 본 논문에 제안된 스위치에서 에너지 변화율은 정전용량 변화율에 비례한다. 따라서 그림 3의 (b)에서와 같이 가동 전극과 고정 전극 사이의 거리를 d , 가동 전

극과 고정 전극이 마주보는 면적을 A , 고정전극의 개수를 n , 유전율을 ϵ_0 , 가동 전극이 움직이는 이동 방향으로의 변위를 x 라 할 때 정전용량 C 가

$$C = \frac{\epsilon_0 n A}{(d-x)} \quad (5)$$

이므로, 진행 방향으로 작용하는 정전 인력은 다음과 같이 정의된다.

$$F_x = \frac{dW}{dx} = \frac{1}{2} \frac{dC}{dx} V^2 = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 n A}{(d-x)^2} V^2 \quad (6)$$

여기서 V 는 고정 전극과 가동 전극 사이에 인가된 전압이다.

위에서 정의한 지지빔 강성과 가동 전극과 고정 전극 사이의 정전 인력은 식 (1)에서 보인 관계를 가지므로 가동 전극이 변위 x 를 이동하기 위해 인가되어야 할 전압은 아래와 같다.

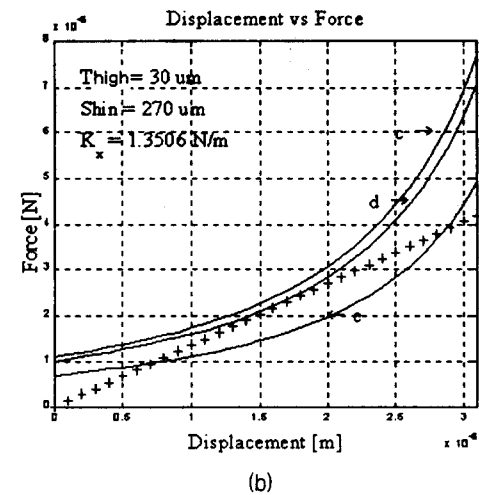
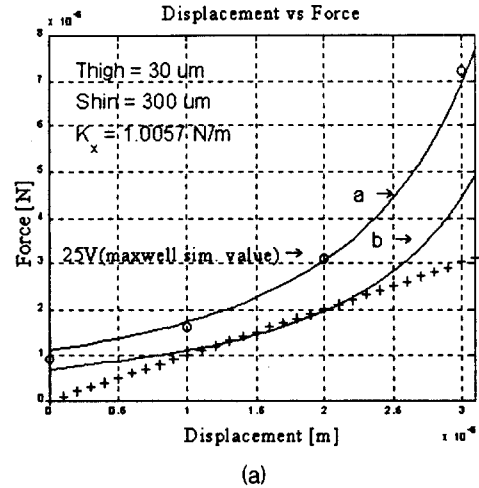
$$V = \sqrt{\frac{2(d-x)^2}{\epsilon_0 n A} K_x x} \quad (7)$$

식 (7)에서와 같이 원하는 변위를 얻기 위해 가동 전극과 고정 전극 사이에 인가해야 하는 전압은 가동 전극과 고정 전극이 바라보는 유효 전극 면적에 반비례하고, 두 전극 사이의 간격에 비례한다.

표 1 설계된 초소형 기계식 스위치의 치수들
Table 1 Dimensions of the designed micromechanical switch

	case 1	case 2
beam length of shin, L2	300 μ m	270 μ m
beam length of thigh, L1	30 μ m	30 μ m
beam width, w	3 μ m	3 μ m
thickness, b	2 μ m	2 μ m
fixed electrode length, Ls	250 μ m	250 μ m
# of fixed electrode	20	20
spacing between fixed and moving electrode, d	5 μ m	5 μ m
spacing between moving and output electrode, g	3 μ m	3 μ m

표 1의 설계 치수로 제안된 초소형 스위치의 동작은 식 (7)의 모델링 결과를 이용하여 예측하였다.



- : 이론적으로 계산된 정전 인력; + : 지지빔의 복원력; o : Maxwell 시뮬레이터로 계산된 정전 인력

그림 4 지지빔의 변위에 따른 정전 인력과 지지빔의 기계적 힘 비교(인가 전압 - a : 25V, b : 20V, c : 25V, d : 24V, e : 20V); (a) Case 1 (b) Case 2

Fig. 4 Comparison of electrostatic force and mechanical force of the suspension beam at various displacements of the beam(Applied voltages - a : 25V, b : 20V, c : 25V, d : 24V, e : 20V); (a) Case 1 (b) Case 2

그림 4는 표 1에서 제시된 case 1, case 2 각각에 대해 위의 이론적 모델링 식을 이용하여 얻은 결과로서 지지빔의 강성을 극복하여 가동 구조물이 출력 전극과 접촉하기 위해서 가동 전극과 고정 전극 사이에 어느 정도의 전압을 인가해야 하는지를 알 수 있다. 그리고 그림 4(a)에는 이론적으로 계산된 결과값들의 검증에 위해 FEM 방식을 사용한 Maxwell simulator로 계산된 결과값들을 첨부하였다. Case 1은 그림 4(a)에서 보면 가동 구조물이 출력 전극과 접촉하기 위해 가동 전극과 고정 전극 사이에는 21V 이상의 전압이 인가되어야 하고, Case 2는 그림 4(b)에 제시된 바와 같이 23.5V 이상의 전압차가 필요함을 알 수 있다.

인가 전압에 따른 가동 구조물의 변위를 그림 5에 나타냈는데 인가 전압이 증가함에 따라 가동 구조물의 변위가 서서히 증가하다가 모든 변위에 대해 정전 인력이 항상 탄성 복원력보다 큰 전압이 되면 변위가 급격히 증가하여 가동 구조물이 출력전극에 접촉하게 됨을 보인다. 이 때의 전압을 문턱 전압(threshold voltage)으로 정의하였는데 이는 제안된 소자가 스위칭 기능을 수행할 때의 ON/OFF 전환점에 해당한다. 즉, case 1의 치수를 갖는 구조는 21V의 입력 전압에서 스위치 ON/OFF 전환이 일어나며 case 2의 구조에서는 23.5V에서 ON/OFF 전환이 이루어질 것으로 예상된다.

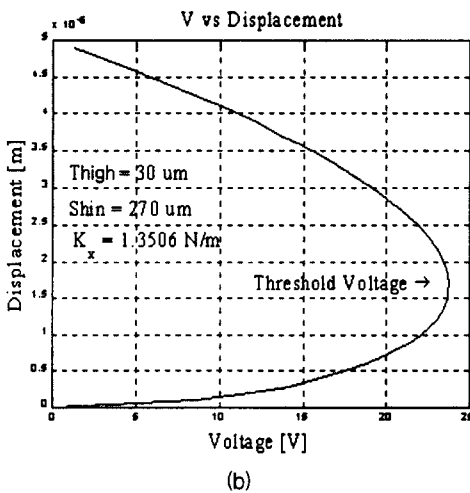
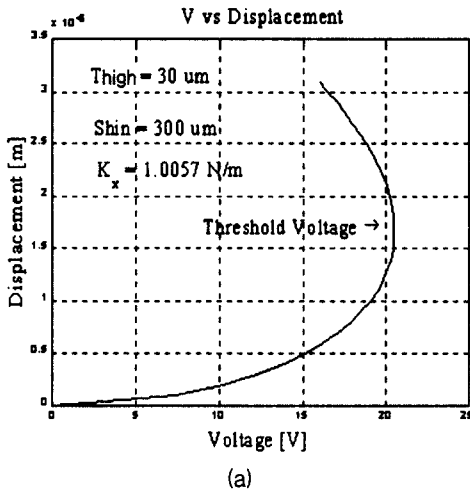


그림 5 인가 전압에 대한 변위의 이론적 계산; (a) Case 1 (shin 길이 = 300 μ m) (b) Case 2 (shin 길이 = 270 μ m)
 Fig. 5 Theoretical calculation for displacement vs. applied voltage; (a) Case 1 (shin length = 300 μ m) (b) Case 2 (shin length = 270 μ m)

4. 제작 공정

설계된 초소형 기계식 스위치는 그림 6과 같은 순서로 이루어지는 마이크로시스템 기술센터의 2층 다결정실리콘을 이용한 표면 마이크로머시닝 기술로 제작되었다[11].

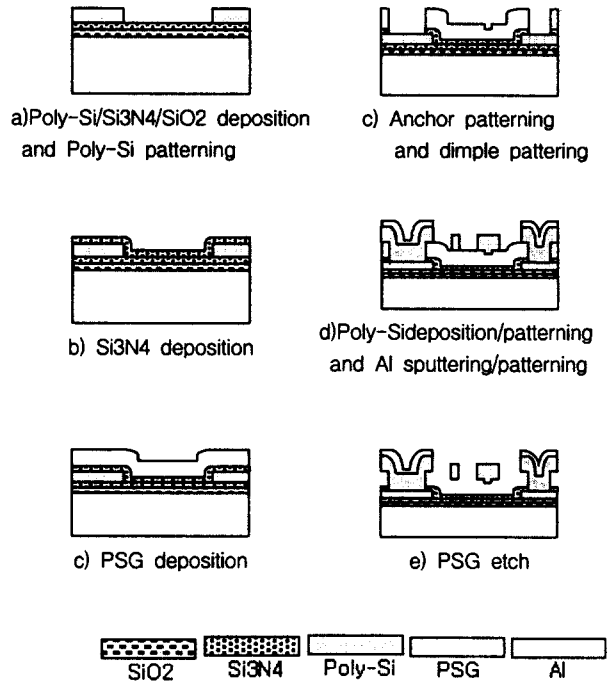


그림 6 공정 순서
 Fig. 6 Fabrication process

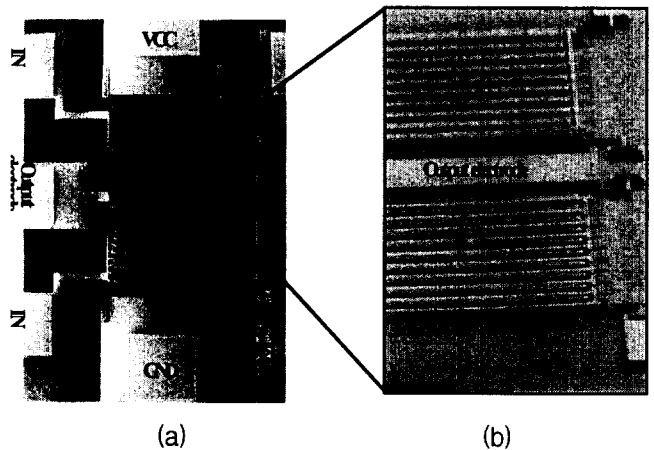


그림 7 표면 미세가공 기술로 제작된 초소형 기계식 스위치; (a) 제작된 초소형 기계식 스위치 (b) (a)의 확대도
 Fig. 7 Micromechanical switch fabricated by surface micro-machining; (a) Fabricated micromechanical switch (b) Enlarged view of (a)

먼저 구조물과 기판 사이의 전기적 절연을 위해 열 산화막을 $0.05\mu\text{m}$ 두께로 성장시킨 후 실리콘 질화막을 $0.25\mu\text{m}$ 두께로 증착하였다. 절연층인 질화막 위에 구조물의 구동을 위한 전극용 다결정실리콘을 LPCVD(Low-pressure Chemical Vapore Deposition)를 사용하여 $0.5\mu\text{m}$ 두께로 증착하고 도핑한 후 패터하였다. 이후 가동 구조물과 전극 사이의 절연을 위한 $0.25\mu\text{m}$ 두께의 실리콘 질화막과 희생층으로 7wt% PSG(Phosphosilicated glass)를 $2\mu\text{m}$ 두께로 증착한 후 패터하고, 구조물로 사용되는 다결정 실리콘을 역시 LPCVD를 통해 $2\mu\text{m}$ 두께로 증착하고 도핑한 후 패터하였다. 희생층 제거와 구조물 부양에는 불산(HF)에 의한 산화막 제거와 p-DCB(p-Dichloro Benzene)를 사용한 승화건조법을 이용하였다. 이와 같은 순서로 제작된 구조물의 SEM 사진을 그림 7에 제시하였다.

5. 동작 실험 및 결과

제작된 스위치의 문턱 전압을 측정하기 위해 그림 8과 같이 I-V 테스터(tester; RS-236)와 개인용 단말기(PC)를 이용하여 구조물의 동작 실험을 진행하였다. 동작 실험을 위해 먼저 I-V 테스터를 초기화한 후 제작된 스위치의 Vcc 전극에는 I-V 테스터의 소스선(source line), 고정 전극에는 I-V 테스터의 접지선(GND line)을 연결하였다. 연결된 소스 선을 통하여 Vcc 전극에 초기 전압 0V부터 100ms 주기, $0.25\text{V}_{\text{step}}$ 또는 1V_{step} 스텝(step)으로 전압을 증가시키면서 인가하였고, 각 단계마다 Vcc 전극과 출력 전극 사이의 전류를 측정하였다. 측정된 전류값은 실시간으로 개인용 단말기에 저장하였다. 여기에서 전류를 측정한 이유는 가동 전극과 출력 전극이 접촉하기 전에는 공기에 의해 절연되고, 접촉 시에만 전류가 흐르므로 접촉이 이루어지는 문턱 전압을 측정할 수 있을 것이라 판단하였기 때문이다.

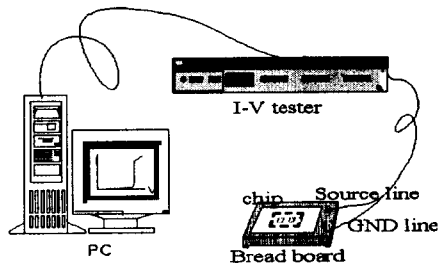


그림 8 측정 시스템
Fig. 8 Measurement system

측정 결과를 그림 9에 제시하였는데 제작된 초소형 스위치 중에서 'ㄱ'자형 꺾은보 지지부의 shin 길이가 $300\mu\text{m}$ 인 서로 다른 구조물에 대해 직렬 저항을 삽입하지 않은 경우와 $10\text{k}\Omega$ 의 직렬 저항을 삽입한 후 측정된 결과를 그림 9(a)와 그림 9(b)에 각각 제시하였다. 무부하 상태에서 구조물이 파손되지 않는 범위에서의 최대 전류값으로 정의되는 최대 허용 전류는 30V에서 50mA의 결과를 얻을 수 있었고, 문턱 전압은 23.5V로 측정되었다. 직렬 저항을 삽입하여 측정한

경우에는 (a) 결과에 대해 약 10배 정도가 작은 전류값이 측정되었고, 문턱 전압은 35V로 측정되었다.

접촉시 발생하는 접촉 저항은 문턱 전압 이상의 전압이 인가되어 가동 전극이 출력 전극과 접촉할 때 구조물을 통하여 출력 전극으로 흐른 전류값을 이용하여 측정된 ON 저항값에서 구조물의 저항 성분을 소거함으로써 계산되었다. 실험으로부터 측정된 ON 저항은 860Ω 이었고, 측정된 다결정실리콘의 면저항이 $11.9\Omega/\square$ 이므로 구조물의 저항은 768Ω 이고, 접촉 저항이 약 90Ω 임을 알 수 있었다.

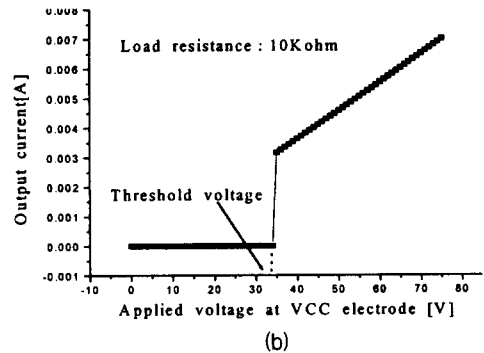
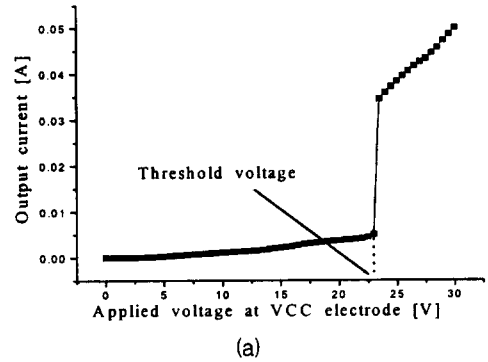


그림 9 측정된 데이터; (a) 출력단에 저항을 연결하지 않은 경우 (b) 출력단에 $10\text{k}\Omega$ 출력 저항을 연결한 경우
Fig. 9 Measured data:(a) Without load resistor (b) With $10\text{k}\Omega$ load resistor

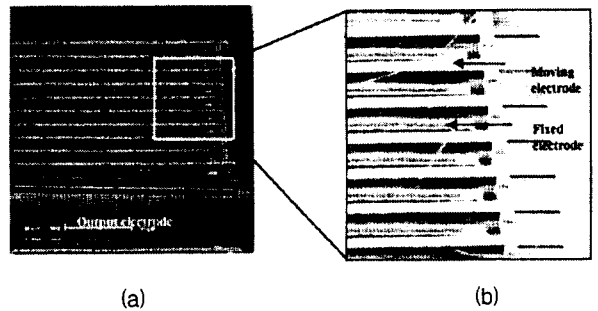


그림 10 오차 원인; (a) 잔류 응력에 의한 빔의 휨 (b) (a)의 확대도
Fig. 10 Source of errors: (a) Beam bending by residual stress (b) Enlarged view of (a)

측정된 문턱 전압은 모델링에 의해 계산된 문턱 전압 21V에서 비해 2.5V 또는 14V 더 큰 값을 보였는데 이는 그림 10에서 제시된 SEM 사진에 보이는 바와 같이 제작된 스위치의 다결정실리콘 박막에 존재하는 잔류 응력에 의해 범이 휘어져 정전 구동기로 사용되는 고정 전극과 가동 구조물 사이의 유효전극 면적이 모델링 시 고려된 면적보다 감소되었기 때문으로 판단된다.

6. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는 다결정실리콘 표면 미세가공 기술을 통해 쉽게 구현할 수 있는 초소형 기계식 스위치를 설계하고 제작하였다. 또한 제작된 초소형 기계식 스위치의 동작 실험을 수행하여 문턱 전압 이상에서 ON/OFF 전환이 이루어짐을 확인하였다. 이때 측정된 문턱 전압은 23.5V이었고, 접촉 저항은 약 90Ω이었다. 따라서 제안된 스위치를 그림 11과 같이 배열하여 Vcc 전극에는 바이어스 전압을, 접지 전극은 접지한 후 입력 신호를 고정 전극에 인가하면 CMOS 소자를 이용하여 구현된 인버터와 동일한 기능을 수행할 수 있는 초소형 기계식 인버터의 제작이 가능하리라 예상된다.

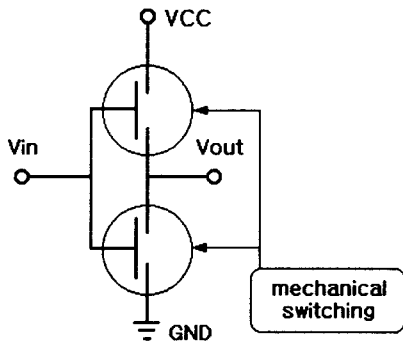


그림 11 MEMS 스위치로 구성된 기계식 인버터
Fig. 11 Mechanical Inverter with MEMS Switch

그러나 제작된 초소형 기계식 스위치가 아직은 논리 기능을 수행할 수 있도록 제작된 기존의 반도체 소자에 비해 동작 전압이 높고, 스위칭 속도가 느리다는 단점을 가진다. 따라서 앞으로는 이의 해결을 위해 소자 전체 크기에 비해 효과적인 유효 전극 면적을 가질 수 있도록 수평 방향 운동이 아닌 수직 방향 운동 방식의 소자 개발에 대한 연구를 진행할 것이며, 스위칭 속도에 대해서 유효 전극 면 사이의 간격을 줄이는 연구가 함께 병행될 것으로 예상된다. 마지막으로 본 논문에 제안된 기계식 스위치의 ON/OFF 기능을 이용하여 인버터 이외에도 NAND, NOR, Flip-Flop 등의 논리 연산용 소자에 응용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부가 주관하는 초소형 정밀기계 선도기술 개발사업에 의하여 지원되었고, 다결정실리콘 표면 마이크로머시닝 공정은 마이크로시스템 기술센터의 제 3차 MEMS MPC에 의해 수행하였으며 이에 감사드립니다. 또한 측정 실험에 많은 도움을 주신 서상희 박사님 연구실에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Ming C. Wu, "Micromachining for Optical and Optoelectronic Systems", Proc. IEEE, Vol. 85, No. 11, pp. 1833-1856, Nov 1997.
- [2] Z. Jamie Yao, Shea Chen, Susan Eshelman, David Denniston and Chuck Goldsmith, "Micromachined Low-Loss Microwave Switches", IEEE J. MEMS, VOL.8, No.2, pp. 129-134. June 1999.
- [3] Paul M. Zavracky, Sumit Majumder and Nicol E. McGruer, "Micromechanical Switches Fabricated Using Nickel Surface Micromachining", IEEE J. MEMS, VOL.6, NO.1, pp. 3-9, March 1997.
- [4] M-A Grerillat, P Thiebbaud, C Linder and N F de Rooij, "Integrated Circuit Compatible Electrostatic Polysilicon Microrelays", J. Micromech. Microeng. pp. 156-160, 5, 1995.
- [5] Ezekiel J. J. Kruglick, Kristofer S. J. Pister, "MEMS Relay Based Digital Logic System", Transducer '99, Sendai, Japan, pp. 818-821, June 7-10 1999.
- [6] Norihiro Asada, Hidetoshi Matsuki and Masayoshi Esashi, "A Fail-Safe Logic Operator Using an Insulated Planar Transformer", Electrical Engineering in Japan, Vol. 115, No. 2, pp. 115-122, 1995.
- [7] M E McNie, K M Brunson, D O King and A R D Jones, "Low Threshold Polysilicon Micro-mechanical Switches", Transducer '99, Sendai, Japan, pp. 1834-1837, June 7-10 1999.
- [8] A. Hirata, K. Machida, H. Kyuragi, and M. Maeda, "A Micromechanical Switch as The Logic Elements for Circuits in Multi Chip Module on Si(MCM-Si)", Proc. IEEE MEMS Conference'99, pp. 582-587, 1999.
- [9] Kyoung Soo Chae, Seung Oh Han, Jong Min Ha, Jungho Pak, Sung Moon, "Design and Fabrication of a Micro Switch for Logic Devices", Proc. The 2nd Korean MEMS Conference, pp. 269-275, 2000.
- [10] Albert P. Pisano, Young-Ho Cho, "Mechanical Design Issues in Laterally-driven Microstructures", Sensors and Actuators, A21-A23, pp. 1060-1064, 1990.
- [11] James M. Bustillo, Roger T. Howe and Richard S. Muller, "Surface Micromachining for Micro-electromechanical Systems", Proc. IEEE, Vol. 86, No. 8, pp. 1552-1574, Aug. 1998.

저 자 소 개



채 경 수 (蔡 敬 洙)

1974년 8월 6일 생. 1999년 고려대 전자공학과 졸업. 1999년~현재 동 대학원 마이크로머시닝학과 석사과정 및 한국과학기술연구원(KIST) 학생 연구원

Tel : 02-958-6908

E-mail : kungs@kist.re.kr



문 성 옥 (文 盛 昱)

1961년 12월 5일생, 1886년 연세대 금속공학과 졸업. 동 대학원 금속공학과 석사. 박사 졸업. 1989년~현재 한국과학기술연구원(KIST) 마이크로시스템 연구센터 선임 연구원. 관심분야 : Optical MEMS

Tel : 02-958-5776, Fax : 02-958-6909

E-Mail : s.moon@kist.re.kr



한 승 오 (韓 承 畝)

1973년 6월 14일생. 1999년 고려대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 마이크로머시닝학과 졸업(석사). 1998년~현재 동대학원 전기공학과 박사 과정

Tel : 02-3290-3238

E-mail : hsohso@mail.korea.ac.kr



박 정 호 (朴 政 浩)

1960년 2월 5일 생. 1985년 미국 퍼듀대 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1992년 - 1995년 Intel Corp. 근무. 1995년 - 현재 고려대 전기공학과 부교수

Tel : 02-3290-3238

E-mail : pak@mail.korea.ac.kr



하 종 민 (河 鍾 珉)

1974년 11월 8일생. 1999년 고려대 제어계측공학과 졸업. 1999년~현재 동 대학원 마이크로머시닝학과 석사과정

Tel : 02-3290-3693

E-mail : kudaniel@mail.korea.ac.kr