

경첩과 핀을 사용한 가동 마이크로 미러의 설계와 제작

지창현*, 김용권, 윤의준*, 최범규**

서울대학교 전기공학부, * 서울대학교 재료공학부, ** 삼성전자

Design and Fabrication of Micro Mirror with Staple and Pin

Chang-Hyeon Ji*, Yong-Kweon Kim, Eui-Joon Yoon*, and Bum-Kyoo Choi**

School of Electrical Eng., Seoul National Univ., * School of Materials Eng., Seoul National Univ.

** Samsung Electronics, LTD.

Abstract

A 1×4 micro mirror array is designed and fabricated. In contrast to other micro mirrors which utilize torsional flexure hinges or cantilevers for restoring torque and supporting purpose, we have placed a substrate hinge structure under each mirror. Each micro mirror consists of address electrode, substrate hinge consisting of pin and staple, supporter post, and mirror plate. Electrical connection between mirror plate and ground electrode is established by substrate hinge. Mirror undergoes a rotational motion due to electrostatic force when voltage difference is applied between address electrode and mirror plate. Micro mirrors with two different types of staple shape and two different pin sizes are designed and fabricated. Each mirror is designed to have $\pm 10^\circ$ of deflection angle and have $100 \times 110 \mu\text{m}^2$ of size.

서론

마이크로머시닝 기술의 발달과 더불어 마이크로 미러 디바이스도 그 형상과 제작 공정에 있어 많은 발전을 이루게 되었다[1~5]. 마이크로 미러는 대부분 바닥의 기판(substrate)과 붙어있는 고정부와 바닥으로부터 일정 높이로 띄워져 움직이게 되는 가동부로 이루어지는데 가동부의 형태에 따라 크게 브리지형(bridge type), 캔틸레버형(cantilever type), 멤브레인형(membrane type), 힌지형(hinge type) 등으로 나눌 수 있다. 기존의 마이크로 미러는 구동 시 구조물의 일부에 기계적 변형이 생기고, 이 변형된 구조물에 의해 복원력이 작용되는 공통점을 가지고 있다[6,7]. 이러한 구동 방식은 복원력을 작용시키는 데 따로 힘을 가하지 않아도 되는 장점이 있으나 반복적인 구동시 영구적인 변형이 생길 수 있는 단점이 있다.

본 논문에서는 복원력을 일으키는 스프링 구조물이 없는 마이크로 미러의 제작 공정을 제시하였다. 가동부로 핀-경첩 구조를 채택하였고, 핀이 경첩 내에서 회전할 수

있도록 감광제를 희생층으로 사용하였다. 핀-경첩 구조(substrate hinge structure)는 표면 미세 가공법(surface micromachining)에 의해 제작된 마이크로 구조물을 기판 위에 바로 세울 수 있는 구조로 최근 다양하게 응용되고 있다[8,9].

마이크로 미러의 구조

본 논문에서 제시하는 마이크로 미러는 그림 1과 같이 알루미늄 미러, 한 개의 지지 기둥, 핀과 경첩, 그리고 전극으로 이루어져 있다.

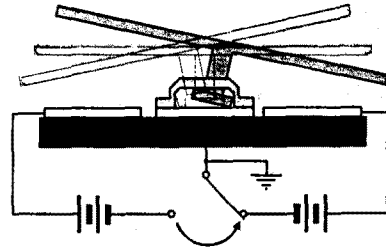


그림 1. 마이크로 미러의 구동 방식의 개략도

알루미늄 미러는 정전력에 의해 핀을 중심 축으로 움직이게 된다. 미러와 전극 사이에 전위차를 주면 이로 인해 발생된 정전력이 미러를 끌어당기게 된다. 미러는 지지 기둥에 의해 하부의 핀과 연결되어 있으므로 핀을 중심 축으로 하여 한쪽 끝이 바닥에 닿을 때까지 회전하게 된다.

그림 2에서 보는 바와 같이 경첩의 형상을 달리하는 2개의 모델을 설계하였으며 각각의 모델에 대해 핀의 크기에도 변화를 주었다. 미러의 크기는 $100 \times 110 \mu\text{m}^2$ 이고 두께는 $1.5 \mu\text{m}$ 이며, 지지 기둥은 $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ 로 높이가 $9 \mu\text{m}$ 이며 속이 빈 파이프 구조를 하고 있다. 핀과 경첩은 두께가 각각 $0.5 \mu\text{m}$ 이고, 핀의 길이는 $80 \mu\text{m}$ 이며 폭은 17

1 μ m와 13 μ m로 설계하였다. 경첩은 길이를 20 μ m와 6 μ m로, 폭은 30 μ m와 24 μ m로 설계하였다.

크롬으로 제작한 전극 이외의 모든 구조물들은 알루미늄으로 제작하였고, 금속막의 형성에는 열증착법(thermal evaporation)을 이용하였다.

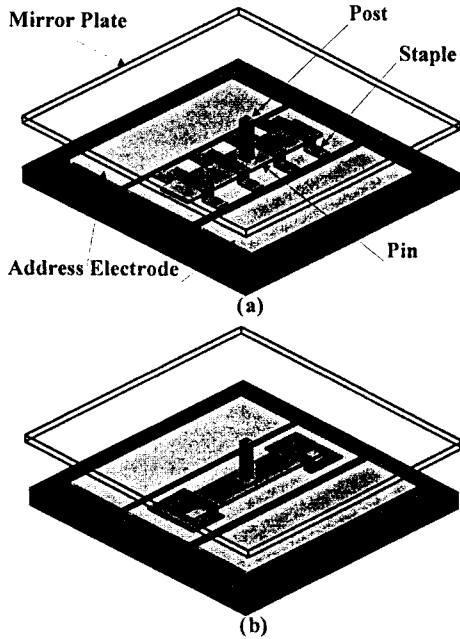


그림 2. 설계된 마이크로 미러의 개략도; (a) 4 개의 경첩으로 핀을 덮어준 모델, (b) 2 개의 경첩으로 양 끝을 덮어준 모델

제작 공정

마이크로 미러의 제작 공정은 전극 형성 공정, 핀-경첩 형성 공정, 지지 기둥과 미러 형성 공정의 3단계로 이루어진다. 그림 3은 각각의 단위 공정 개략도이다.

결정 방향 <100> 실리콘 웨이퍼 위에 절연층으로 쓰이는 열산화막(0.5 μ m)을 성장시킨다. 크롬(0.1 μ m)을 열증착하고 감광제(photoresist; AZ1512)로 패터닝한 후 습식 식각(wet etching)에 의해 전극을 형성한다.

그림 3과 같이 핀-경첩의 제작에는 핀의 상부와 하부에 희생층이 필요한데, 먼저 감광제(AZ1512)로 하부 희생층을 형성하고 내구성 및 내화학성 강화를 위한 열처리 과정(@85 $^{\circ}$ C: 30min \rightarrow @120 $^{\circ}$ C: 60min \rightarrow @180 $^{\circ}$ C: 30min)을 거친 후 핀으로 쓰일 알루미늄 막을 열증착한다. 다시 동일한 감광제로 상부 희생층을 형성하고 알루미늄 막을 습식 식각하여 상·하부 희생층 사이에 핀을 형성한다. 핀 형성 공정에서는 과도 식각(over-etching)에 의해 핀의 크기가 희생층보다 작게 만든다. 습식 식각

후에는 열처리(@85 $^{\circ}$ C: 30min \rightarrow @120 $^{\circ}$ C: 30min \rightarrow @150 $^{\circ}$ C: 30min \rightarrow @180 $^{\circ}$ C: 30min)를 통해 상부 희생층과 하부 희생층 사이에 생긴 공간을 제거한다. 이 위에 알루미늄을 열증착하고 패터닝 한 후 습식 식각하여 경첩을 제작한다.

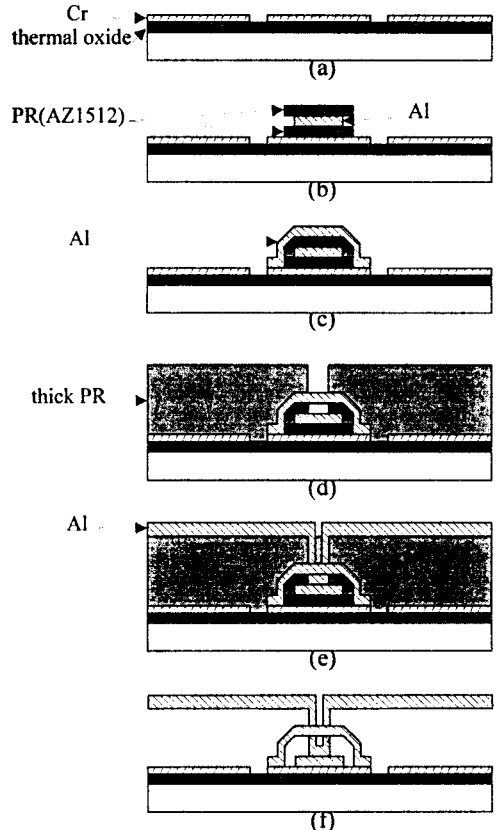


그림 3. 제작 공정의 개략도; (a) 전극 형성 공정, (b) 핀 형성 공정, (c) 경첩 형성 공정, (d) 지지 기둥 형성을 위한 반응성 이온 식각, (e) 지지 기둥과 미러 형성 공정, (f) 희생층 제거 공정

후막 감광제(thick photoresist; PMER-P AR900)를 스핀 코팅 및 열처리(@85 $^{\circ}$ C: 30min \rightarrow @120 $^{\circ}$ C: 60min \rightarrow @180 $^{\circ}$ C: 30min)하여 두께 약 10 μ m의 희생층을 형성한다.

미러와 지지 기둥은 알루미늄 열증착으로 동시에 형성하게 되는데 이를 위해서는 먼저 지지 기둥이 형성될 부분의 후막 희생층을 O₂ 플라즈마를 이용한 반응성 이온 식각(RIE; Reactive Ion Etching)으로 제거한다. 이어서 열증착법으로 알루미늄 막을 형성하고 이를 습식 식각하여 미러를 형성한다. 이와 같은 공정이 완료되면 마지막으로 희생층을 제거하게 되는데 여기서도 역시 반응성 이

은 식각을 이용한다. O₂ 플라즈마를 이용한 반응성 이온 식각에 의해 핀 상하부에 위치한 희생층 및 미러 하부의 후막 희생층이 모두 제거된다. 희생층 제거를 위한 반응성 이온 식각 조건은 다음과 같다.

표 1. 희생층의 등방성 건식 식각 조건

RF power	200 W
chamber pressure	700 mTorr
used gas (flow rate)	O ₂ (50 sccm)

실험 결과

감광제를 희생층으로 알루미늄 경첩 구조를 제작하였다. 크롬 전극 위에 희생층으로 둘러싸인 알루미늄 핀과 이를 덮는 경첩을 제작하고, 반응성 이온 식각법으로 희생층을 제거하였다. 이는 앞서 제시한 그림 3의 공정도에서 (a), (b), (c)의 작업을 진행한 후 희생층을 제거한 것이다.

이후의 후막 감광제를 이용한 희생층 형성과 미러 형성 공정은 이미 확립되어진 공정으로 재현성을 확인한 바 있기 때문에 전체 공정 중 가장 중요한 부분인 경첩 구조의 형성 공정을 우선적으로 진행하였다.

과도 식각에 의한 핀의 형성시 부분적으로 하부 희생층과 상부 희생층이 어긋난 부분이 있었고, 웨이퍼 상의 위치에 따라 식각 속도가 달라 핀의 크기를 균일하게 조절할 수 없었다. 제작된 경첩 구조물에서 핀의 길이는 78~73 μm 정도이고, 폭은 17~11 μm 였다.

경첩으로 쓰일 알루미늄 막을 울리기 위해서는 과도 식각에 의한 핀 형성 후 열처리(reflow)에 의해 상·하부 희생층 사이의 공간을 제거해야 하는데 이 조건을 확립하였다.

다음 사진은 희생층 제거 직전과 직후에 촬영한 경첩 구조물의 광학 현미경 사진이다.

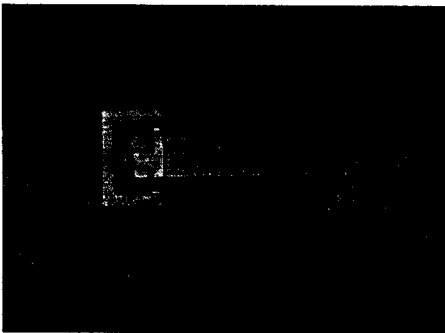


그림 4. 경첩 2 개를 사용한 모델의 희생층 제거 직전의 광학 현미경 사진



그림 5. 경첩 4 개를 사용한 모델의 희생층 제거 직전의 광학 현미경 사진

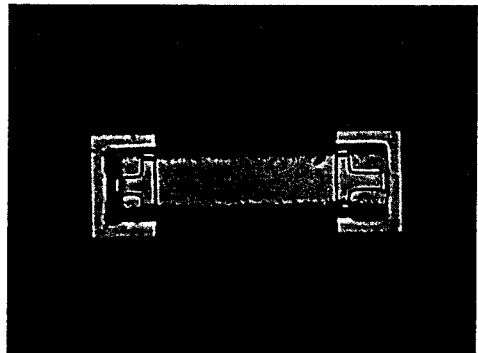


그림 6. 경첩 2 개를 사용한 모델의 희생층 제거 후의 광학 현미경 사진

결론

알루미늄 경첩 구조물을 제작하였다. 희생층 제거 후 경첩 내에서 핀이 회전할 수 있도록 감광제를 희생층으로 사용하였고, 형성된 희생층을 핀의 식각을 위한 마스크로도 사용하였다. 경첩의 형성에 필요한 희생층의 열처리 공정이 확립되었다. 희생층은 마지막에 반응성 이온 식각에 의해 제거되었다.

참고문헌

- [1] Larry J. Hornbeck, "128 × 128 Deformable mirror devices," IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 30, pp. 539-545, 1983
- [2] Jack M. Younse, "Mirrors on a chip," IEEE spectrum, pp. 27-31, November, 1993
- [3] Larry J. Hornbeck, "Deformable-mirror spatial light modulator," Spatial Light Modulators and Application III,

SPIE Critical Review, Vol. 1150, pp. 86-102, August, 1989

- [4] M. Fischer, H. Graef, W. von Münch, "Electrostatically deflectable polysilicon torsional mirrors," *Sensors and Actuators*, A44, pp. 83-89, 1994
- [5] Seok-Whan Chung, Jong-Woo Shin, Yong-Kweon Kim, Bong-Soo Han, "Design and fabrication of micro mirror supported by electroplated nickel posts," *Proceedings of the 8th Int. Conf. on Solid State Sensors and Actuators*, Vol. 1, pp. 312-315, Stockholm, Sweden, June 25-29, 1995
- [6] John H. Comtois, Victor M. Bright, Steven C. Gustafson, M. Adrian Michalick, "Implementation of hexagonal micromirror arrays as phase-mostly spatial light modulators," *Proceedings of SPIE*, Vol. 2641, pp. 76-87, 24 October 1995
- [7] Raji Krishnamoorthy, Thomas Bifano, "MEMS arrays for deformable mirrors," *Proceedings of SPIE*, Vol. 2641, pp. 96-104, 24 October 1995
- [8] N. C. Tien, O. Solgaard, M-H. Kiang, M. Daneman, K. Y. Lau, R. S. Muller, "Surface-micromachined mirrors for laser-beam positioning," *Proceedings of the 8th Int. Conf. on Solid State Sensors and Actuators*, Vol. 2, pp. 352-355, Stockholm, Sweden, June 25-29, 1995
- [9] Kristofer S. J. Pister, "Hinged polysilicon structures with integrated CMOS TFTS," *Proceedings of IEEE Solid State Sensor and Actuator Workshop*, pp. 136-139, Hilton Head, South Carolina, June 22-25, 1992