

다결정 실리콘 마이크로머시닝 제작 시 폴리머 지지층을 이용한 옆 방향 점착방지 방법의 제안

임형택, 윤충현, 김용권
서울대학교 전기공학부 마이크로 머신 연구실

A New Antistiction Method Using Polymer Suspension for Fabrication with Polysilicon Micromachining

Hyung-Taek Lim, Choong-Hyun Yoon and Yong-Kweon Kim
Lab for Micro Sensors & Actuators, School of Electrical Engineering, Seoul National University

Abstract - A novel antistiction method using photo resist is proposed and verified to improve the yield of polysilicon micromachining process. 7.5 μ m-thick polysilicon is used as a structural layer. Residual stress and stress gradient originated from polysilicon deposition with LPCVD process is relaxed by doping and thermal treatment. The stress gradient of stress-free polysilicon layer is -0.755MPa/ μ m.

1. 서 론

근래에 이르러 MEMS 기술 중, 표면 가공기술의 단점 중 하나인 응력 완화와 건식 식각에 대한 기술이 축적되어 가면서 몸체 마이크로머시닝 기술에서 표면 마이크로머시닝 기술이 다시 각광을 받고 있다.

표면 마이크로머시닝은 구조물 제작 비용이 높지만 공정 디자인에 있어 거의 무제한이라 할만큼 제약이 적고 몸체 마이크로머시닝 기술로 제작한 센서나 액추에이터에 비해 에너지의 효율이 높다. 하지만, 표면 마이크로머시닝 기술을 이용하여 구조물을 제작할 경우 희생층 제거에 의한 릴리스 공정이 반드시 수반되어야 하며 소자의 수율을 좌우하게 된다. 여러 릴리스 방법이 제안되어 왔지만, 그 중에서도 대표적인 것이 구조물과 바닥면의 점착 방지를 위한 것으로 희생 층을 기상 식각하는 방법[1], 희생 층을 승화 물질로 대체하는 방법[2] 그리고 표면을 점착 방지 막으로 처리하는 방법[3] 등이 있다. 하지만 기상 식각 방법은 희생 층의 식각 속도가 느리고, 장비의 제작이 용이하지 않다는 단점이 있다. 또한 승화 물질로 대체하는 방법은 승화 물질이 액상에서 고체 상태로 상전이하는 과정에서 응력이 크게 발생하여 구조물에 타격을 준다고 보고되고 있다. 점착 방지 막에 의한 표면처리는 근래에 들어 각광받고 있는 기술이며 그 효과도 탁월한 것으로 알려져 있다. 하지만 사용 분위기가 까다롭고 비용이 저렴하지 않으며 비교적 많은 종류의 습식 공정을 거쳐야 하므로 구조물이 용액 처리 과정에서 파손될 확률이 매우 높아진다.

현재 센서 및 구조물 제작에서 요구하는 박막의 두께가 증가함에 따라 구조물과 바닥 면과의 점착 현상보다는 구조물끼리의 옆 방향 점착 현상이 심각하며, 특히 고성능 센서 소자의 구조 특성상 1~2 μ m의 간극으로 구성되어 있어 옆 방향 점착 문제의 해결이 그 수율을 좌우하는 요소로 작용하고 있다.

본 논문에서는 옆 방향 점착 방지를 위하여 릴리스 과정에서 다결정 실리콘 구조물과 구조물을 폴리머에 의해 지지하는 새로운 방법을 제안하였다. 구조물로서는 7.5 μ m 두께의 다결정 실리콘을 이용하여 구조물을 제작하였고, 다결정 실리콘 막의 잔류 응력 및 응력 기울기의 완화를 불순물 주입과 열처리를 통하여 조절하였다.

2. 본 론

2.1 제작

2.1.1 공정

테스트 구조물로서 다수의 외팔보와 작은 간극의 배열들로 구성된 마이크로 자이로스코프를 설계하였고 다결정실리콘 공정으로 제작한 제작 공정 순서는 다음의 그림 1에 나타나 있다.

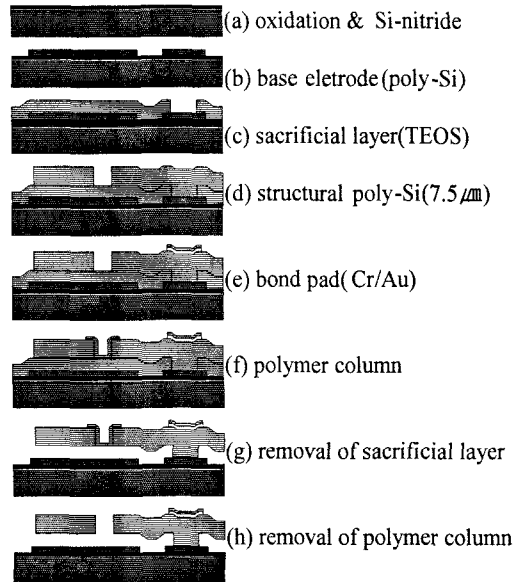


그림 1. 전체 공정 흐름도

공정 방법은 일반적인 2-polysilicon layer 공정을 사용하여 소자를 제작하며 와이어 본딩을 위한 전극 제작 후, 희생 층 제거 공정 직전에 구조물들의 옆 방향 점착 방지를 위한 폴리머 지지부를 형성한다. 이후에, 희생층을 49% HF에서 제거한 후 릴리스되어 있는 구조물의 폴리머 지지부를 O₂ 플라즈마를 이용한 건식 식각(O₂ plasma ashing)으로 제거한다.

2.1.2 폴리머 지지부 제작

폴리실리콘 공정을 이용하여 센서를 제작하는 경우, 가장 수율을 떨어뜨리는 공정이 바로 희생 층 제거에 의한 릴리스 시 발생하는 점착 현상이다. 이러한 점착 현상은 여러 가지 희생 층 제거 방법에 의해 개선되었고, 하부감지용의 가속도계에서와 같은 단순한 구조물에서는 문제가 되지 않으나 자이로스코프와 같은 구조적으로 집적화된 미세구조물에서는 그 문제가 심각히 드러나고 있

다. 특히 진동형 자이로스코프의 경우 대향 전극 구조를 가진 좁은 간극으로 구성되어 있으며, 앵커 등의 부수적인 기계 구조들이 그 크기에 있어 많은 제약을 받게 된다. 따라서 회생 층 제거 시에, 여러 식각 액의 유입이나 응력에 따라 앵커가 떨어진다거나 또는 대향 전극끼리의 옆 방향으로의 점착이 심각하게 발생한다(그림 2).

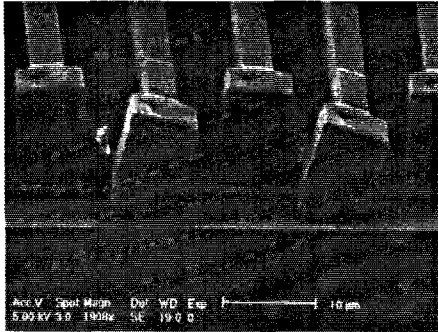
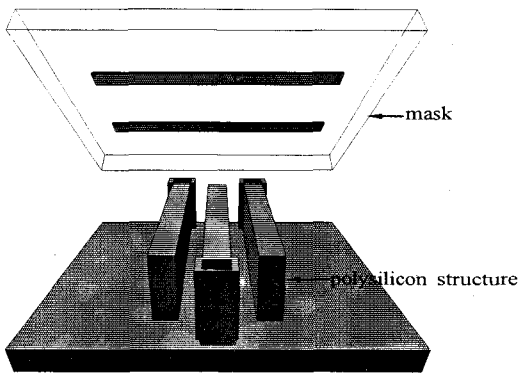
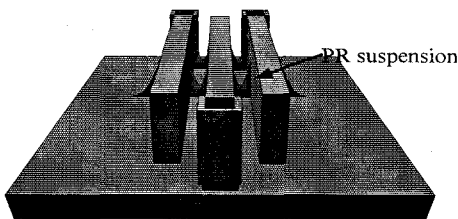


그림 2. 릴리스 시 앵커가 떨어지는 현상

이와 같은 옆 방향 점착 및 앵커가 떨어지는 현상을 방지하기 위해 미세구조물들이 회생 층 제거 시에도 서로 지지될 수 있는 방법을 그림 3에 도시하였다.



(a) 마스크 및 구조물의 배치



(b) 구조물 사이의 제작된 폴리머 지지부

그림 3. 폴리머 지지부의 공정 개략도

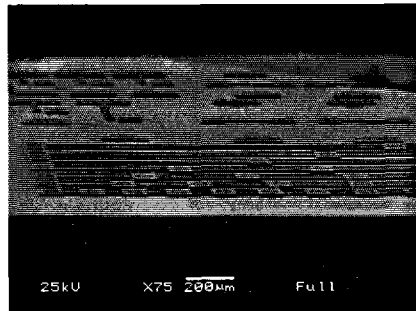
그림 3과 같은 공정 개략도에서 보이듯이, 회생 층 제거 직전에 다결정 실리콘 구조물에 대해 수직 방향의 폴리머 지지부를 구조물 사이에 형성함으로써, 릴리스 시에도 지지하도록 하여 옆 방향 점착에 대해서 강인한 특성을 갖도록 하였다. 폴리머 지지부의 형성 물질로는 감광제를 사용하여 1번의 추가적인 사진식각 작업으로 폴리머 지지부를 형성하였으며, 과도한 노광에 대한 감광제의 노광특성을 이용하여, 노광 마스크가 선으로 이루어진데 반해 폴리머 지지부는 오로지 구조물의 간극 사이에만 존재하도록 하였다. 노광 량이 적을 경우, 감광제가 구조물 위나, 구조물 옆면과 회생 층이 만나는 부분에 잔류하게 되어 응력 발생 및 회생 층 제거에 방해

가 된다. 또 노광 량이 과도할 경우 적당한 폴리머 지지부가 형성이 되질 않는다. 폴리머 지지부를 형성하기 위한 조건은 AZ1512를 이용, 12mW, 40sec 노광 시간에서 확립되었다. 릴리스 이후 폴리머 구조를 산소 플라즈마에 의해 제거함으로써 좁은 간극을 가진 다결정 실리콘 구조물의 온전한 릴리스를 수행하였다.

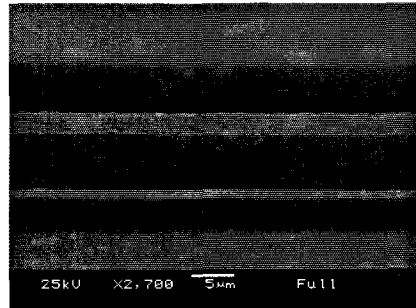
2.2 다결정 실리콘 잔류 응력 완화

7.5 μ m 두께와 같이 두꺼운 다결정 실리콘 막을 이용하여 구조물을 제작하는 것은 일반적으로 까다롭다고 알려져 있다. 폴리실리콘은 증착 이후 도핑과정과 열처리 공정을 거쳐야 하며, 증착 조건, 도핑 조건, 열처리 조건에 따라, 잔류 응력 및 응력 기울기가 영향을 받기 때문이다[4-6]. 본 논문에서는 이러한 공정상의 조건을 확립하기 위해 증착 온도는 565 $^{\circ}$ C로 고정하고, 불순물 주입 및 열처리 조건을 800 $^{\circ}$ C, 900 $^{\circ}$ C 및 1000 $^{\circ}$ C로 나누어 실험하였다.

800 $^{\circ}$ C의 선증착 시간은 90분이고, 900 $^{\circ}$ C 및 1000 $^{\circ}$ C의 선증착 시간은 각각 60분이며 이후의 후확산 시간을 2시간마다 증가시키며, 잔류 응력 및 응력 기울기를 측정하였다. 900 $^{\circ}$ C, 60분간 도핑한 조건이 가장 응력 기울기가 작았으며, 그때의 응력 기울기는 -0.755MPa/ μ m로 측정되었다.



(a) 릴리스된 100~1500 μ m 길이의 브릿지 구조물



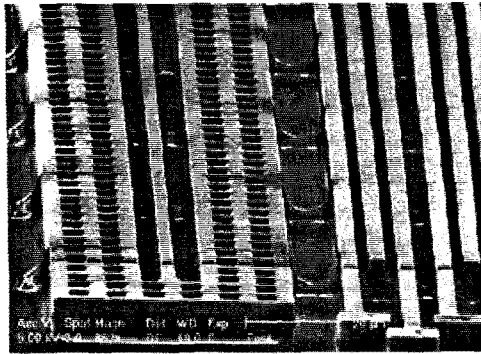
(b) 1500 μ m 브릿지 구조의 중앙 부분

그림 4. 릴리스 된 브릿지 구조물

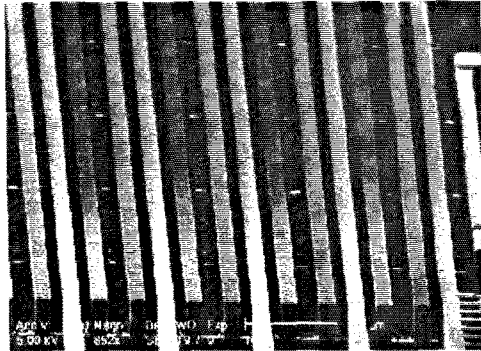
잔류 응력에 대해서는 그림 4에서 보이듯이, 두 조건 모두 최대 길이 1500 μ m clamped-clamped 빔의 경 buckling이 발생하지 않았다.

2.3 구조물 제작 및 릴리스

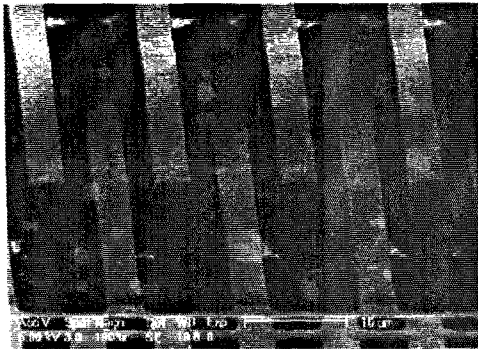
위에서 수행한 실험을 통해 검증된 7.5 μ m 두께의 다결정 실리콘 막과 개선된 릴리스 방법을 이용하여 간극 2 μ m를 갖는 센서 구조물을 제작하였고 릴리스 결과를 그림 5에 나타내었다.



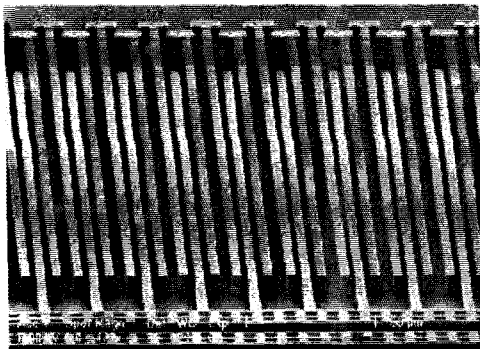
(a) 구조물과 전극 부분의 폴리머 지지부



(b) 전극의 간극(2 μ m)의 폴리머 지지부



(c) 희생층 제거 후의 간극의 폴리머 지지



(d) 폴리머 지지 제거 후 구조물 릴리스

그림 5. 폴리머 지지를 이용한 자이로스코프 구조물의 릴리스

그림 5(a)는, 그림 3(b)에서 보였듯이, 희생 층 제거

전의 폴리실리콘 구조물 및 폴리머 지지부가 구조물 사이에 형성된 사진이며, (b)는 검출 전극 부분의 간극 2 μ m 부분사이의 지지하고 있는 사진이다. (c)는 희생층 제거 후, 릴리스 된 상태에서의 폴리머 지지부가 지지하고 있는 사진이며, (d)는 O₂ 플라즈마에 의해 폴리머 지지부를 제거한 후, 성공적으로 릴리스된 상태의 사진이다. 센서 구조물 전체의 릴리스된 사진이 다음 그림 6에 나타나 있다.

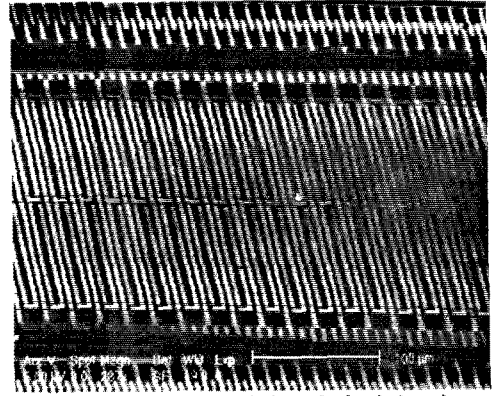


그림 6. 폴리머 지지부가 제거된 후의 릴리스된 구조물

3. 결 론

한번의 추가적인 사진식각 공정을 통하여 형성된 폴리머 지지 구조물을 이용하여 다결정 실리콘의 옆 방향 접촉 방식을 통해, 좁은 간극들로 구성된 구조물의 릴리스를 제안하였으며 이를 실험을 통해 검증하였다.

Acknowledgement

본 연구는 국방과학기술 연구소(ADD)의 과제인 유도 무기 관성항법 장치용 실리콘 가속도계 및 자이로스코프의 개발(AC-041)의 지원에 의해 수행되었음을 밝힙니다

(참 고 문 헌)

- [1] Y. I. Lee, K. H. Park, J. Lee, C. S. Lee, H. J. Yoo, C. J. Kim and Y. S. Yoon, "Dry Release for Surface Micromachining with HF Vapor-Phase Etching", *J. MEMS*, Vol. 6, No. 3, Sep., pp. 226-233, 1997.
- [2] J. Y. Kim and C. J. Kim, "Comparative Study of Various Release Methods for Polysilicon Surface Micromachining", *IEEE Proc. MEMS*, pp. 442-447, 1997.
- [3] B. H. Kim, C. H. Oh, K. J. Chun, T. D. Chung, J. W. Byun and Y. S. Lee, "A New Class of Surface Modifiers for Stiction Reduction", *IEEE Proc. MEMS*, pp.189-193, 1999.
- [4] H. Guckel, D. W. Burns, C. C. G. Visser, H. A. C. Tilmans and D. Deroo, "Fine-Grained Polysilicon Films with Built-In Tensile Strain", *IEEE. Trans. Electron Devices*, Vol. 35, No. 6, Jun., pp. 800-801, 1988.
- [5] M. Orpana and A. O. Korhonen, "Control of Residual Stress of Polysilicon Thin Films By Heavy Doping in Surface Micromachining", *IEEE Proc. MEMS*, pp. 957-960, 1991.
- [6] P. Krulevitch, R. T. Howe, G. C. Johnson and J. Huang, "Stress in Undoped LPCVD Polycrystalline Silicon", *IEEE Proc. MEMS*, pp. 949-952, 1991.