1995年度 定期總會 및 秋季學術大會 論文集 1995.11.18

HF 증기상 식각과 열처리를 이용한 다결정 규소 미세 구조체의 제작

박 경 호, 이 춘 수, 정 영 이, 이 재 열, 이 용 일, 최 부 연, 이 종 현, 유 형 준
한국전자통신연구소, 반도체연구단 미세구조연구실

Fabrication of Polysilicon Microstructures Using Vapor-phase HF Etching and Annealing Techniques

K. H. Park, C. S. Lee, Y. I. Jung, J. Y. Lee, Y. I. Lee,
B. Y. Choi, J. H. Lee, and H. J. Yoo
Semiconductor Division, Electronics and Telecommunications
Research Institute, Taejeon 305-606, Korea

Abstract

We present a novel method to fabricate surface micromachined structures without their sticking on the substrate. An anhydrous HF/CH_3OH vapor-phase etching(VPE) of sacrificial SiO_2 layers was employed to release 0.5-2 μm thick polysilicon cantilevers. The fabricated structures were observed using scanning electron microscope and 3-dimensional optical microscope. The results show that we can successfully make cantilever beams up to 1200μm long without sticking. Annealing effects on residual stress of polysilicon microstructures were also investigated. Annealing at 1100℃ for 1 hour was found to be effective to release the residual stress of the polysilicon microstructures. These VPE and annealing techniques will be useful in surface micromachining technologies.

1. 서론

Micro Electro Mechanical System(MEMS) 기술에 있어 자유롭게 동작할 수 있는 구조체를 제작하는 것은 아주 중요하다. 현재 MEMS에 의한 구조체를 구현하는데 있어 구조체가 휘는 현상(bending)과 구조체가 기판과 들러붙는 고착현상(adhesion)은 큰 문제가 된다. MEMS에서 주로 사용되는 산화막 희생층의 제거에 의해 구현되는 다결정 규소 구조체에서 다결정 규소에 개재되는 잔류 응력때문에 구조체가 휘게 되고, 산화막 희생층을 HF로 식각한 후 세정하고 건조하는 과정에서 세정용액의 표면장력이 구조체를 기판으로 끌어당겨 기판에 들러붙는 현상이 발생한다. 구조체를 기판으로 끌어당기는 힘으로는 van der Waals force, 정전력(electrostatic force), 표면장력에 의한 모세관 힘(capillary force), 그리고 solid bridging이 있다. [1] 고착을 일으키는 힘들 중 μm정도 크기에서 가장 큰 영향을 미치는 것은 액체에 의한 모세관 힘이다. 구조체가 기판과 들러붙는 고착현상을 없애기 위해 다결정 규소 표면을 거칠게 만들어 접촉면적을 줄이거나, NH_4F로 실리콘을 식각함으로써 표면을 비친수성으로 만드는 방법들을 연구하고 있다. 휘는 현상을 없애기 위해서는 다결정 규소에 개재된 잔류응력을 이해하고 제거해야 한다.

본 논문에서는 세정용액에 의한 표면 장력을 없애기 위해 VPE방법을 이용하여 두께와 길이가 다른 여러 다결정 규소 캔티레버를 제작하여 열처리에 따른 결과를 분석하였다.

2. 실험방법

각 빔의 폭이 10, 20, 40, 60, 80, 100μm이고 길이는 폭을 기준으로 15배까지 증가시켜서 캔티레버를 제작하였다. 캔티레버의 두께를 0.5, 1, 2μm로, 희생층 두께를 2, 4μm로 변화시켰다. 구조체를 제작하기 위해 직경 5인치 Si(100) 기판에 LPCVD(low pressure chemical vapor deposition)법으로 산화막을 112Å/min의 속도로 증착시켰다. 다결정 규소막은 LPCVD법으로 625℃에서 100Å/min의 속도로 0.5, 1, 2μm 두께로 증착하였다. 열처리는 900℃와 1100℃, 질소분위기에서 1시간동안 수행되었다. 열처리후 두께 2, 4μm의 LTO(Low Temperature Oxide) 희생층을 VPE와 BOE(Buffered Oxide Etcher)방법으로 식각하였다. 폭이 넓은 캔티레버의 경우 VPE로만 식각하기에는 시간이 너무 많이 소요되므로 BOE로 식각한 후, VPE로 식각해서 폭 80μm인 캔티레버까지 완전히 식각하였다. VPE방법으로 식각할 때 식각속도는 3μm/h이고 BOE방법으로 식각할 때 7μm/h이다. 이런 방법으로 구현된 캔티레버의 형태를 주사 전자 현미경(SEM)과 3차원 광학 현미경을 이용하여 관찰하였다. 3차원 광학 현미경은 구조체의 표면을 주사(scan)함으로써 구현된 구조체의 형태와 깊이를 관찰할 수 있고 0.01μm정도의 분해능을 가진다.

VPE방법[2]은 간단하게 말하면 무수 불산과 메탄올(CH_3OH) 증기를 이용한 기체상 식각방법이다. 그림1은 시스템의 개략도이다. 기체상을 이용한 방법으로 임계 이산

화탄소 건조방법이 있다. [3] Mulhen은 이 방법으로 폭 5 μm, 두께 1.4μm, 기판과의 거리 2.7μm인 다결정 규소 캔티레버를 최대길이 850μm까지 고착되지 않게 했다. 그러나 이들의 방법은 임계상태로 만들기위해 고압이 필요하다. 그래서 VPE방법을 이용하는 것이 더 유용하다.

3. 실험결과 및 고찰

BOE로 4시간 식각한 후 현미경으로 확인한 결과 폭 60 μm인 빔은 식각이 완료되지 않았다. VPE로 7시간 30분동안 식각후 80μm인 빔까지 완전히 식각되었음을 확인했다. 두께가 2μm, 기판과의 간격이 4μm, 폭 80μm인 빔은 액체가 물인 경우, 물에 의해 고착되지 않는 빔의 최대 길이를 구해보면[4] 100μm가 된다. 액체에 의한 표면장력을 완전히 없애기 위해 VPE방법으로 구현한 빔의 경우는 최대길이 1200μm까지, 폭 40μm인 빔은 최대길이 600μm까지 고착되지 않았다. 이 결과는 그림2와 3의 SEM 사진으로 확인 할 수 있다. VPE방법의 경우 액체에 의한 표면장력이 없기때문에 고착되지 않는 최대길이는 거의 무한대라고 할 수 있다.

VPE방법을 이용함으로써 습식식각과 비교해서 약 10배가 더 긴 캔티레버를 고착현상없이 구현할 수 있었다. 이 방법을 이용한다면 더 긴 길이의 빔도 구현할 수 있을 것이다.

그림4는 열처리를 하지 않고 2μm 두께의 LTO를 VPE방법으로 식각한 두께 0.5μm, 폭 10μm, 길이가 300μm까지의 캔티레버의 SEM사진이다. 캔티레버의 길이가 증가함에 따라 휨 정도도 증가하고 있다. 900℃에서 열처리된 빔은 끝부분이 약간 휘고 1100℃에서 열처리된 빔은 잔류응력이 제거되어 반듯한 형태가 되었다. 그림5와 6으로 확인할 수 있다. 그림7은 각각의 열처리 온도에서 빔 길이의 자승치에 대한 최대 휨정도를 측정한 값과 fitting 한 값을 보여준다. 이를 이용해 열처리 하지 않은 빔과 900℃에서 열처리한 빔의 최대 잔류응력을 구해보면[5] 각각 $7.88\times10^{8}N/m^{2}$, $5.60\times10^{8}N/m^{2}$이 된다.

4. 결론

구조체를 제작할때 주로 발생하는 고착현상과 휘는 현상을 없애기 위해 VPE방법으로 식각하고, 900℃와 1100℃에서 각각 1시간 열처리하였다. 이렇게 구현한 여러 형태의 다결정 규소 미세 구조체를 주사전자현미경과 3차원 광학 현미경으로 관찰하였다. 폭 40μm의 빔은 최대길이 600μm까지 폭 80μm의 빔은 최대 길이 1200μm까지 고착되지 않았다. 이러한 결과는 미세 구조체를 제작할 때 발생하는 고착문제는 VPE방법으로 해결할 수 있음을 보여준다. 또한 VPE 하나의 과정만으로 구조체를 제작하는 것이 가능한 이점이 있다. 열처리 되지 않은 빔의 최대 잔류응력은 900℃에서 열처리한 빔보다 10배가 크다. 그러나 900℃에서 열처리한 빔 역시 변형이 일어나므로 잔류응력을 제거하는 열처리 온도로 적당하지 않음을 알 수 있다. 1100℃에서 열처리한 빔은 잔류응력이 제거되어 반듯한 형태가 되었다.

참고문헌

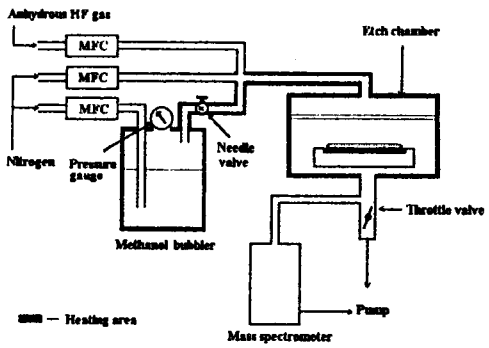
[1] R. Legtenberg, J. Elders, and M. Elwenspoek, Proc. 7th Int'l Conf. on Solid-State Sensors and Actuators, 1993, 198-201.

[2] J. Ruzyllo, K. Torek, C. Daffron, R. Grant, and R. Novak, J. Electrochem. Soc., 140, 1993, L64.

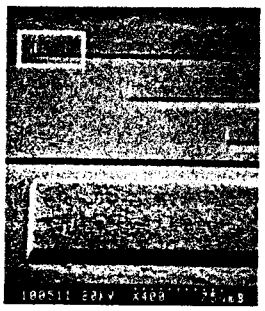
[3] G. T. Mulhen, D. S. Soane and R. T. Howe, Proc. 7th Int'l Conf. on Solid-State Sensors and Actuators, 1993, 296-299.

[4] C. H. Mastrangelo and C. H. Hsu, IEEE Solid-State Sensor and Actuator Workshop, 1992, 208-212.

[5] R. L. Alley, G. J. Cuan, R. T. Howe, and K. Komvopoulos, IEEE Solid-State Sensor and Actuator, Hilton Head Island, SC, 1992, 202-207.



(그림1) VPE 장치 개략도



(그림2) 폭 80μm, 길이 1200μm인 빔

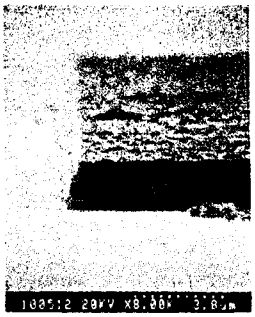
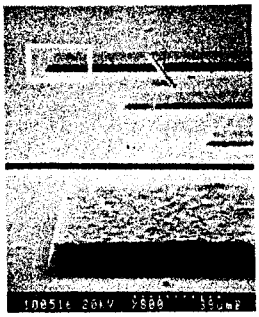
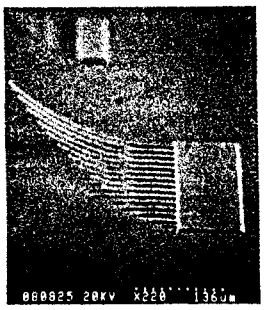


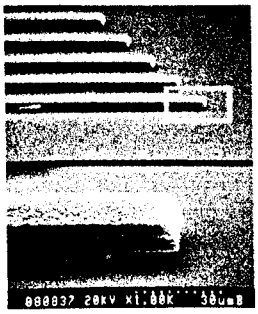
그림2의 끝부분을 확대한 것



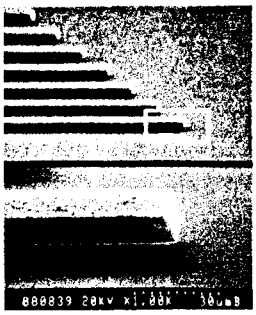
(그림3) 폭 40μm, 길이 600μm인 빔



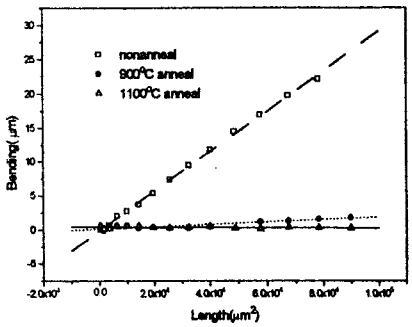
(그림4) 열처리되지 않은 두께 0.5μm, 폭 10μm, 기판과의간격 2μm인 빔.



(그림5) 900℃에서 열처리된 두께2μm, 폭 10μm, 기판과의 간격 2μm인 빔.



(그림6) 1100℃에서 열처리된 두께2μm, 폭10μm, 기판과의 간격2μm인 빔.



(그림7) 캔티레버 길이의 자승치에 대한 최대 휨 정도