

MEMS용 PSG와 TEOS의 열처리에 따른 잔류응력 측정

李相佑, 李尙禹, 김중팔, 박상준, 이상철, 김성운, 조동일
 서울대학교 전기공학부

Measurement of residual stress of TEOS and PSG for MEMS

Sangwoo Yi, Sangwoo Lee, Jongpal Kim, Sangjun Park, Sangchul Lee, Sungun Kim,
 and Dongil Cho
 School of Electrical Engineering, Seoul National University

Abstract - This paper investigates the residual stress of tetraethoxysilane (TEOS) and 7wt% phosphosilicate glass (PSG), which are commonly used as a sacrificial layer or etch mask in the fabrication of microelectromechanical systems (MEMS). In order to measure residual stress, 2 μ m thick TEOS and PSG stress measurement structures are fabricated. Polysilicon is used as the sacrificial layer. First the residual stress of an as-deposited 7wt% PSG film and TEOS film are measured to be -0.3115% and -0.435%, respectively, which are quite large. These films are annealed from 500 $^{\circ}$ C to 800 $^{\circ}$ C. Annealing has the effects of reducing residual stress. In the case of the 7wt% PSG film, the residual stress becomes +0.00715% after annealing at 625 $^{\circ}$ C for 150 minutes. In the case of TEOS film, the residual stress reduces to -0.2134% after same condition. Incidentally, this condition is the same condition for depositing a 2 μ m thick polysilicon at 625 $^{\circ}$ C at our low pressure chemical vapor deposition (LPCVD) furnace.

passivation을 위해 질화막을 증착한 후 희생층으로 사용될 다결정실리콘 2 μ m를 증착한다. 그 후에 구조물의 anchor를 만들기 위하여 다결정실리콘을 식각하고 나서 산화막을 증착한다. 그리고 나서 다결정 실리콘 희생층을 XeF₂로 건식 식각하여 잔류응력 측정 구조물을 기판에서 띄어낸다. 표 1은 산화막 증착 조건 및 두께를 정리한 것이다.

표 1. 산화막 증착 조건 및 증착 두께

| | Equipment Model | Target Thickness | Deposited Thickness | Temp. | Pres. | Gas | | |
|----------|-----------------|------------------|---------------------|------------------|--------|------------------|----------------|-----------------|
| 7wt% PSG | PYROX Model 216 | 2.00 μ m | 1.974 μ m | 350 $^{\circ}$ C | 1 atm | SiH ₄ | O ₂ | PH ₃ |
| | | | | | | 81.6 sccm | 1.8 sccm | 5.30 sccm |
| TEOS | Precision 5000 | 2.00 μ m | 1.995 μ m | 390 $^{\circ}$ C | 9 Torr | TEOS | | |
| | | | | | | 220 sccm | 220 sccm | |

1. 서 론

실리콘 표면미세가공에서 문제가 되는 것 중 하나가 산화막의 잔류응력이다. 잔류응력이 생기는 이유는 증착물의 불균일성, 외부에서 작용하는 stress, 산화막과 실리콘 기판간의 열팽창계수의 차이 때문이다[1]. 잔류응력이 문제가 되는 이유는 박막이 기판의 internal strain을 완화시켜 주지 못해 결국 기판의 기계적인 변형을 일으키거나 실리콘 표면미세가공에서의 박막 구조물을 휘게 하여 원하는 구조물을 만들 수 없게 되며 박막이 기판에 접착이 안 좋아져 이후 공정에 영향을 미치게 되기 때문이다. 이외에도 박막의 전기적 성질을 변화시키기도 한다.

또, 잔류응력은 산화막의 증착온도와 두께[2], 그리고 열처리 온도와 시간에 따라서 달라진다[3]. 지금까지 많은 연구가 이루어졌지만 각기 서로 다른 연구에서 얻어진 결과가기 때문에 산화막의 잔류응력과 그 영향에 대한 체계적인 데이터가 아직 마련되어 있지 못하다.

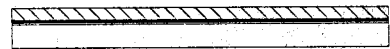
IC 회로용으로 사용되는 산화막과는 달리 실리콘 표면미세가공에 사용되는 희생층은 두꺼워야 하는데 이번 연구에서는 이러한 여러 산화막의 물적 특성을 측정하였다.

2. 실험 및 실험 결과

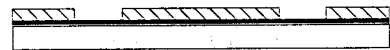
2.1 실험

2.1.1 잔류응력 측정 구조물 제작

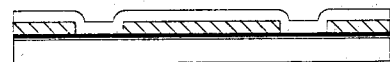
잔류응력 측정 구조물로는 Euler beam[4]과 bent-beam strain sensor[5]를 이용하였다. 그림 1은 구조물 제작 공정을 나타낸 것이다. 우선 buffer oxide와



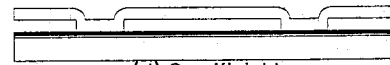
(a) Buffer oxide, nitride and poly deposition



(b) Anchor patterning



(c) Oxide deposition & patterning



(d) Sacrificial layer etching

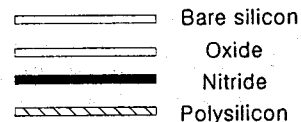


그림 1. 잔류응력 측정 구조물 제작 공정

2.1.2 XeF₂를 이용한 희생층 식각

실리콘 식각에 사용되는 XeF₂는 상온에서 백색의 고체이며 이것이 주위의 압력이 3.8 Torr 이하로 떨어지면 승화되어 기체 상태로 변해서 실리콘을 식각하게 된다.

그림 2의 그래프는 7wt% PSG를 구조물로 하였을 때, 그림 1의 다결정실리콘의 식각율을 나타낸 것이다. 다결정실리콘의 식각율은 시간에 따라 거의 선형적인 특성을 보인다. 산화막에 대한 다결정실리콘의 식각 선택비는

100:1 이상인 것을 확인하였다.

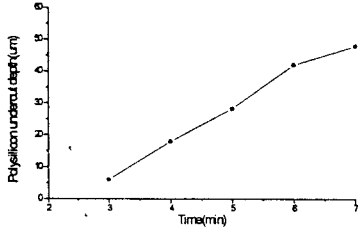


그림 2. XeF₂에 대한 다결정 실리콘의 식각율 (10.8 μm/min)

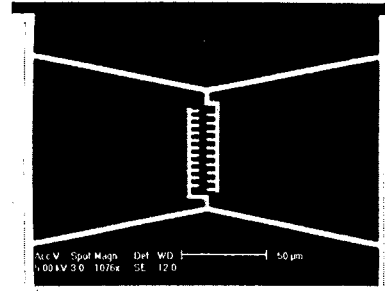


그림 4. TEOS (as-deposited)의 압축 잔류응력에 의해 변형된 bent-beam strain sensor

2.1.3 열처리 공정

열처리 공정은 7wt% PSG와 TEOS 모두 500°C에서부터 800°C까지 100°C씩 증가시키면서 1시간 동안 질소 분위기에서 수행하였다. 그리고 MEMS용 다결정실리콘 증착에 많이 사용되는 증착 온도인 585°C와 625°C에서 다결정실리콘을 2μm 증착하는데 걸리는 시간(585°C의 경우 330분, 625°C의 경우 150분)동안 열처리를 하였다.

2.2 실험 결과

그림 3과 그림 4는 압축 잔류응력에 의해 변형된 Euler beam과 bent-beam strain sensor의 SEM 사진이다. Euler beam은 여러 가지 길이의 bridge 형 beam을 array로 만들어서 그 중에 잔류응력에 의해 buckling이 일어나는 가장 작은 빔을 관측하여 잔류응력을 계산한다[4]. 이 경우 인장 잔류응력을 측정할 수 없다. 또 bent-beam strain sensor의 경우 가운데 부분의 vernier gauge의 눈금을 읽어서 잔류응력을 측정할 수 있다. 이 경우는 압축잔류응력과 인장잔류응력을 모두 측정할 수 있다. 실험 결과 Euler beam과 bent-beam strain sensor로 측정한 압축 잔류응력은 15% 내외의 오차를 가지는데 이는 Euler beam의 경우 buckling을 관측하는데서 생기는 오차이다.

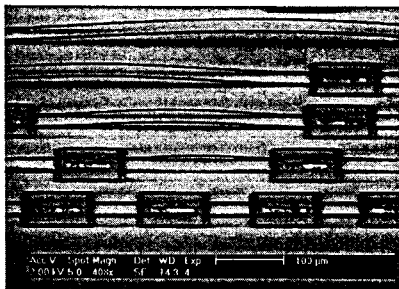


그림 3. 7wt% PSG (as-deposited)의 압축 잔류응력에 의해 변형된 Euler beam

그림 5와 6은 7wt% PSG와 TEOS의 잔류응력을 정리한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 두 가지 film 모두 최소 strain을 가지는 온도가 있고 625°C에서 열처리한 7wt% PSG의 잔류응력이 인장응력을 보인다. 그림 7과 8은 이 625°C에서 열처리한 7wt% PSG의 잔류응력 측정 구조물의 SEM 사진이다.

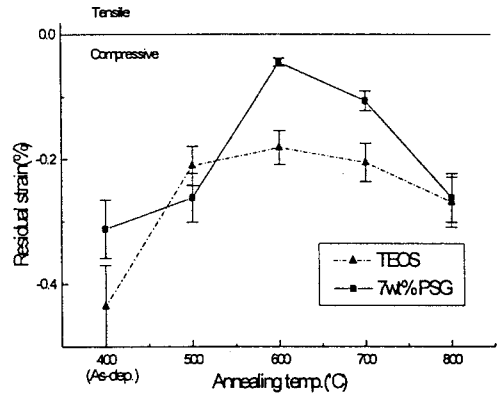


그림 5. 7wt% PSG와 TEOS의 열처리에 따른 잔류응력의 변화 (열처리 시간 60분)

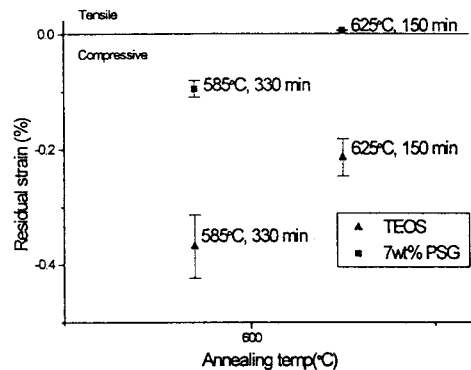


그림 6. 585°C와 625°C에서 열처리한 7wt% PSG와 TEOS의 잔류응력의 변화

(참 고 문 헌)

- [1] K. Ramkumar and A.N. Saxena, "Stress in SiO₂ Films Deposited by Plasma and Ozone Tetraethylorthosilicate Chemical Vapor Deposition Processes", *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 139, No. 5, 1437, May 1992.
- [2] D. Kouvatzos, J.G. Huang, V. Saikumar, et al, "SiO₂ Film Stress-Thickness Dependence, Non-Planar Oxidation, and Fluorine-Related Effects", *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 139, No 8, 2322, August 1992.
- [3] Yoshimi Shioya and Mamora Maeda, "Comparison of Phosphsilicate Glass Films Deposited by Three Different Chemical Vapor Deposition Methods", *J. Electrochem. Soc: Solid-State Science and Technology*, Vol 133, No 6, 1943, September 1986.
- [4] H. Guckel, T. Randazzo and D. W. Burns, "A simple technique for the determination of mechanical strain in thin films with applications to polysilicon", pp 1671-1675, *J. Appl. Phys.* 57(5), 1985
- [5] Yogesh B. Gianchandani, "Bent-Beam Strain Sensors", *J. of Microelectromechanical Systems.*, VOL. 5, NO. 1, March 1996.

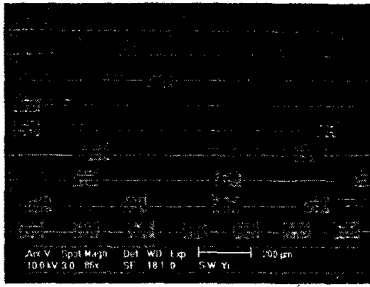


그림 7. 625℃로 열처리한 7wt% PSG의 인장 잔류응력을 보이는 Euler beam

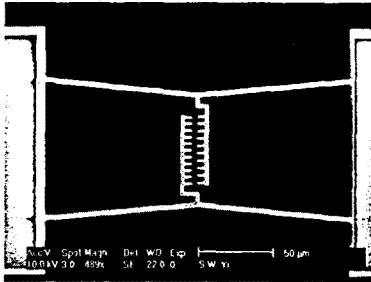


그림 8. 625℃로 열처리한 7wt% PSG의 인장 잔류응력을 보이는 bent-beam strain sensor

3. 결 론

MEMS에 사용되는 2 μ m의 7wt% PSG와 TEOS의 잔류응력은 증착 초기에는 비교적 큰 압축 잔류응력을 가지지만, 열처리 공정을 함으로써 잔류응력이 낮아진다. 그러나 열처리 온도가 700℃ 이상이 되면 잔류응력은 다시 커지는 것으로 볼 때 잔류응력을 최소로 하는 최적 열처리 온도가 약 600℃ 정도이다. 특히 625℃에서 열처리한 7wt% PSG는 아주 작은 인장 잔류응력을 가지므로 MEMS 구조물 제작에 유리하다.