

# HF 기상식각에 의한 TEOS 희생층의 표면 미세가공 Surface Micromachining of TEOS Sacrificial Layers by HF Gas Phase Etching

장원익\*, 이창승, 이종현, 유형준  
한국전자통신연구소 반도체연구단

W. I. Jang\*, C. S. Lee, J. H. Lee, and H. J. Yoo  
Semiconductor Division, Electronics and Telecommunications Research Institute, Yusung P. O. Box 106, Taejeon 305-600

## ABSTRACT

The key process in silicon surface micromachining is the selective etching of a sacrificial layer to release the silicon microstructure. The newly developed anhydrous HF/CH<sub>3</sub>OH gas phase etching of TEOS (tetraethylorthosilicate) sacrificial layers onto the polysilicon and the nitride substrates was employed to release the polysilicon microstructures. A residual product after TEOS etching onto the nitride substrate was observed on the surface, since a SiO<sub>x</sub>N<sub>y</sub> layer is formed on the TEOS/nitride interface. The polysilicon microstructures are stuck to the underlying substrate because SiO<sub>x</sub>N<sub>y</sub> layer does not vaporize. We found that the only sacrificial etching without any residual product and stiction is TEOS etching onto the polysilicon substrate.

**Key Words :** surface micromachining(표면 미세가공), sacrificial layer(희생층), HF gas phase etching(불산 기상식각), polysilicon(다결정실리콘)

## 1. 서 론

마이크로 센서등의 고기능화된 MEMS (microelectromechanical system) 제작에 있어서 중요한 제조공정은 박막 미세가공 기술에 의해 희생층인 산화막을 식각하여 미소구조체를 띄우는 것이다. 이와같은 박막 미세가공 기술에서 희생층인 산화막을 식각하여 실리콘 미소구조체를 기판으로부터 띄울 때 희생층인 산화막의 식각은 HF에 의한 습식 식각방법이 가장 잘 알려져 있다. 그러나 산화막을 식각한 후 세정하고 건조하는 동안 미소구조체가 표면장력에 의한 모세관력(capillary force)으로 하부기판에 달라붙는 고착(stiction) 현상이 발생하여 센서의 감도와 수율이 떨어진다. 이러한 현상을 없애기 위하여 다결정 실

리콘을 거칠게 만들어 접촉면적을 줄이거나, NH<sub>4</sub>F로 실리콘을 식각함으로써 표면을 비친수성으로 만드는 방법과 초임계(supercritical) 유체의 상전이 특성을 이용하는 초임계 이산화탄소 건조 방법이 연구되고 있다. 또한, 초기에 HF 습식식각을 대신하는 새로운 방법으로서 낮은 압력에서 HF/H<sub>2</sub>O 증기를 사용하여 산화막 표면에 응축된 액체층이 산화막과 반응하는 기상 식각(gas phase etching)공정으로 주로 수행하였다.

본 연구에서는 낮은 압력에서 식각액으로 무수(anhydrous) HF와 반응촉매로 기존의 H<sub>2</sub>O 보다 증기압이 높은 CH<sub>3</sub>OH 증기를 사용하여 희생층 산화막을 식각하는 방법이 도입되었다. 따라서 파티클(particle)의 발생이 감소되고 식각된 표면

에 고체 잔유물의 형성이 억제되어 고착 현상이 일어나지 않으며, 다른 산화막과의 높은 선택률로 인하여 매우 효과적인 식각방법으로 알려져 있다. 또한 이 방법은 기존의 웨이퍼 세정공정을 응용한 것으로 집적회로(integrated circuit) 제작공정과 클러스터 장비(cluster tool)와의 호환성에 전혀 문제가 없다는 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 무수 불산과 메탄올을 이용한 기상 식각공정에 의해 다결정 실리콘 기판과 질화막 기판 위에 증착된 산화막인 TEOS 희생층의 표면 미세가공으로 다결정 실리콘의 미소구조체를 제작하였고, 그 식각 특성과 식각한 후에 생성된 잔류물질에 대하여 분석하였다.

## 2. 실험방법 및 장치

다결정 실리콘의 미소구조체의 제작과정을 그림 1에 나타내었다. 사용된 실리콘

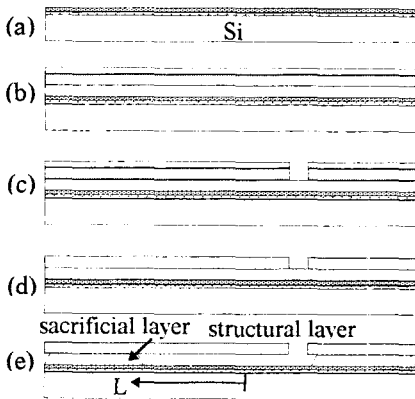


그림 1. 다결정 실리콘 미소구조체의 제작 공정 순서

- (a)  $\text{SiO}_2/\text{poly-Si}$  (or  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) 증착
- (b) TEOS/poly-Si/TEOS 증착
- (c) TEOS와 poly-Si 패턴형성
- (d) TEOS 식각
- (e) TEOS HF 기상 식각

기판은 결정면이 (100)이고, 비저항이 5-8

$\Omega\text{cm}$ 인 P형 실리콘 5인치 웨이퍼이다. 먼저 실리콘 웨이퍼와 소자의 절연을 위해 산화막을 2000Å 성장한 후 다결정 실리콘을 LPCVD 방법으로 3000Å 증착하였고, 다른 시료는 산화막위에 질화막을 LPCVD 방법을 이용하여 3000Å 증착하였다. 희생층 산화막으로서 TEOS를 710°C에서 2μm 증착한 후에 미소 구조체로 사용될 다결정 실리콘을 2μm 증착하였다. 다결정 실리콘은 전기전도체로 사용되어야 하므로  $\text{POCl}_3$ 을 이용하여 인(phosphorus)을  $10^{20}/\text{cm}^3$  도핑(doping)하였고, 다결정 실리콘의 잔류응력을 완화시키기 위하여 열처리를 1000°C에서 1시간 수행하였다. 마지막으로 다결정 실리콘의 전식식각을 위한 마스크 재료로서 TEOS를 증착하고, PR 마스크를 사용하여 패턴을 형성한 후에 기상 식각공정을 이용하여 희생층 산화막을 식각하였다. 이때 사용된 HF 기상식각 장치의 개념도를 그림2에 나타내었다.

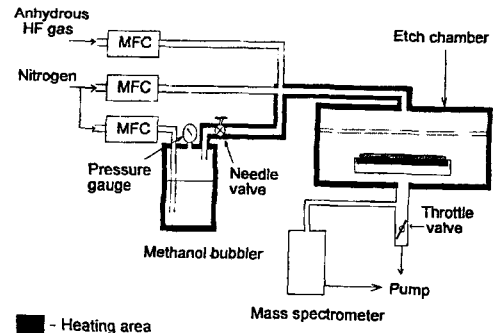
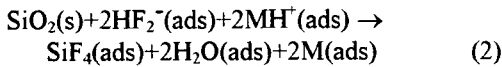
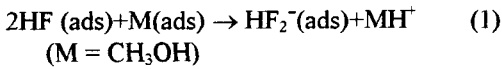


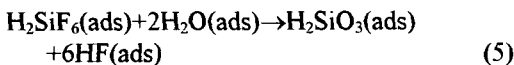
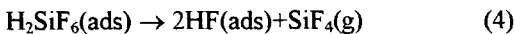
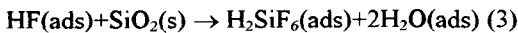
그림 2. HF 기상식각 장치의 개념도

반응실의 내부는 HF에 의한 부식을 방지하기 위하여 테프론(Teflon)으로 코팅(coating) 되어 있다. 산화막의 식각은 자동 유량조절기에 의해 공급되는 무수 불소(순도 99.9%)와 캐리어가스(carrier gas)로 질소를 버블러(bubbler)에 주입하여 발생하는 메탄올(순도 99.9%) 증기를 사용하였다. 메탄올의 유량은 Hiden사(model HAL/3F)의 4극 질량분석기(quadruple mass spectrometer)로 측정되었다.

HF에 의한 산화막 식각과정을 화학반응식으로 살펴보면 다음과 같다. 먼저 산화막 기판에 흡착된 불산과 메탄올은 식(1)과 같이  $\text{HF}_2^-(\text{ads})$ 로 이온화가 된다. 흡착된  $\text{HF}_2^-$ 는 습식식각에서와 마찬가지로 가장 중요한 식각반응 인자로서, 식(2)에 보인 바와 같이 산화막과 반응하여  $\text{SiF}_4(\text{ads})$ 를 생성시킨다.  $\text{SiF}_4(\text{ads})$ 는 물이나 메탄올처럼 기화된 후 진공배기계로 배출되며, 이 과정은 산화막의 식각이 완료될 때까지 계속된다.



산화막 식각과정에서의 다른 부산물로서 식(3)에서와 같은  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ 가 생성될 수 있다. 이것은 식각공정의 완료단계에서 식(4)의  $\text{SiF}_4(\text{g})$ 로 분해되어 기판으로 부터 분리되어야만 웨이퍼 위에 잔류물(residue)을 발생시키지 않는다. 그러나 기화하기 어려운 식(5)의 규산( $\text{H}_2\text{SiO}_3$ )이 많이 생성되는 반응조건인 경우에는 잔류물질이 많이 생성되어 미세구조체의 고착문제를 심각하게 유발시킬 수 있다. 따라서 식(5)에서와 같은 잔류물의 생성을 억제하기 위해서는 HF 압력을 상승시키고 물의 함량을 낮추거나 또는 웨이퍼의 온도를 높이는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있다.



식(1)에서의 산화막 식각율은 흡착된 HF와  $\text{CH}_3\text{OH}$ 의 분압에 주로 좌우되며, 이 분압은 두 물질의 사이의 이온화반응을 지배하게 된다.

HF 기상 식각공정에서 사용된 HF와  $\text{CH}_3\text{OH}$ 의 분압은 각각 15torr, 4.5torr이다. 그림 3에서 HF와  $\text{CH}_3\text{OH}$ 의 증기압이 25°C에서 각각 916.5 torr, 121.5 torr임을 감안할 때, 이 공정조건에서는 기상식각이 가능하고 또한 높은 식각율이 유지될 것으로 판단되었다.

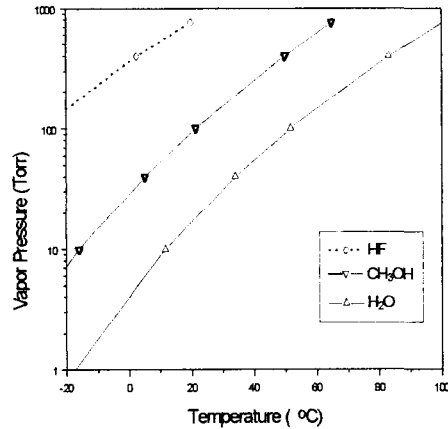


그림 3. 온도에 따른 HF,  $\text{CH}_3\text{OH}$ 와  $\text{H}_2\text{O}$ 의 증기압

마지막으로 희생층 식각후 기판 표면은 SEM으로 관찰하였고, 질화막 기판 위의 잔류물질은 AES를 이용하여 분석하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

그림 4(a)와 (b)는 기상 식각방법을 이용하여 다결정 실리콘 기판과 질화막 기판 위의 TEOS를 식각한 후의 SEM 사진이다. 질화막 기판위의 TEOS를 식각한 후에 기판표면에서 잔류물질이 관찰되었다. 그러나 다결정 실리콘 기판위의 TEOS를 식각한 후에는 표면에 잔류물질이 관찰되지 않았다. 그림 4(a)에서 다결정 실리콘 캔틸레버의 길이와 폭은 500 $\mu\text{m}$ 와 1, 2, 4, 6, 10, 20 $\mu\text{m}$ 이다. 이 크기는 SEM 사진의 패턴중 하나이므로 더 길고 폭 넓은 다결정 실리콘 캔틸레버(cantilever)도 잔류물질과 고착 현상없이 제작할 수 있다.

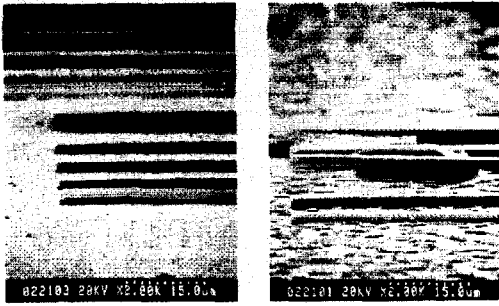


그림 4. (a) 다결정 실리콘과 (b) 질화막 기판위의 TEOS 식각후 SEM 사진

식각시간에 따른 식각된 산화막 두께와 다결정 실리콘 구조층 아래의 식각된 산화막 길이를 그림 5에 나타내었다. 이때 무수 불산/메탄올의 부분 압력비와 불산의 부분 압력은 각각 0.12, 23.6 Torr이었고, 웨이퍼와 챔버의 온도는 25°C이었다. 다결정 실리콘 구조층 아래의 산화막 식각률이 벌크(bulk) 산화막의 식각률보다 작게 나타났다.

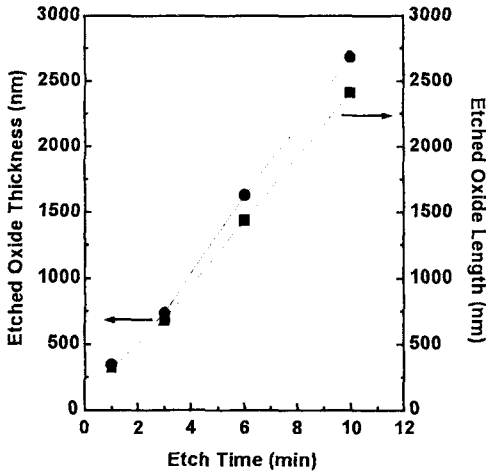


그림 5. 식각 시간에 따른 식각된 산화막 두께와 길이

그림 6(a)와 (b)는 TEOS를 식각후 후에 질화막 기판 위의 잔류물질을 분석한 AES 스펙트럼과 원자조성 분포도이다. 질화막 기판위의 TEOS를 식각한 후 발생된 잔류물질에서 실리콘, 질소, 산소가 감지되

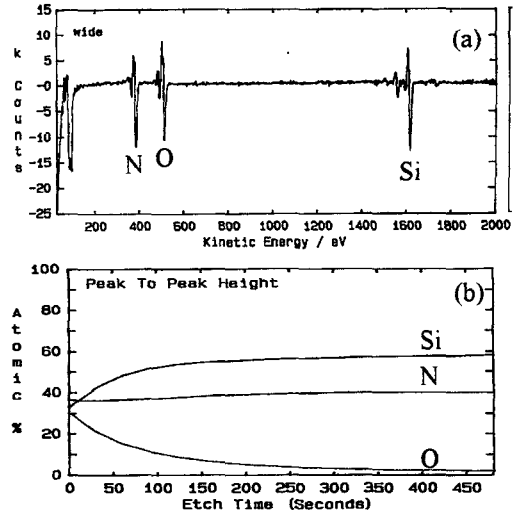


그림 6. TEOS 식각후 잔류물질의 AES (a) 스펙트럼과 (b) 원자조성 분포도

었다. 잔류물질의 구성을 분석한 결과 TEOS의 Si 결합상태인  $\text{SiO}_2$  조성이 질화막 표면 근처에서  $\text{SiO}_x\text{N}_y$  형태로 변하는 것을 알 수 있다. 따라서  $\text{SiO}_x\text{N}_y$ 는 기상 식각에서 TEOS 식각후 질화막 기판에서 증발되지 않고 잔류물질로 남는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

무수 불산과 메탄올을 이용한 기상 식각 공정에 의해 다결정 실리콘 기판과 질화막 기판 위에 증착된 산화막인 TEOS 희생층의 표면 미세가공으로 다결정 실리콘의 미소구조체를 제작하였다. HF 기상 식각에서 다결정 실리콘 구조층 아래의 TEOS 식각률이 벌크(bulk) TEOS 식각률보다 작게 나타났고, 질화막 기판위의 TEOS는 식각후 잔류물질이 생성되었다. TEOS 식각후 생성된  $\text{SiO}_x\text{N}_y$ 는 기상 식각에서 증발하지 않고 하부 기판에 잔류물질로 남아 다결정 실리콘의 미소구조체를 띄울 수 없었다. 그러나 HF 기상 식각을 다결정 실리콘 기판위의 TEOS에 적용하였을 때에는 잔류물질과 고착 현상이 발

생하지 않고 다결정 실리콘 캔티레버를 제작할 수 있었다. 앞으로 무수 불산/메탄올을 이용한 희생층 산화막의 식각은 박막 미세 가공기술로서 매우 효과적임을 알 수 있다.

### 감사의 글

본 연구결과에의 분석에 많은 도움을 주신 특허청의 정희환 박사님께 감사드리며, 연구재원은 정보통신부의 지원으로 이루어졌음을 밝힙니다.

### 참 고 문 헌

1. R. T. Howe, Thin Solid Films, 181, pp.235 (1989)
2. D. J. Monk, D. S. Sonane, and R. T. Howe, J. Electrochem. Soc., 141, pp.264 (1994)
3. H. Guckel, J. J. Sniegowski and T. R. Christenson, Sensors and Actuators, 20, pp.117 (1989)
4. W. C. Tang, T. C. H. Nguyen, and R. T. Howe, Pro. IEEE Micro Electro Mechanical Systems, Utah, U.S.A. pp.53 (1989)
5. M. Wong, M. M. Moslehi, and D. W. Reed, J. Electrochem. Soc., 138, pp.1799 (1991)
6. J. E. Tong, K. Schertenleib and R. A. Carpio, Solid State Tech., 27, pp.161 (1984)
7. C. S. Lee, J. T. Baek, H. J. Yoo and S. I. Woo, J. Electrochem. Soc., 143, pp.1099 (1996)