

논문 98-7-1-11

무수 불화수소와 메탄올의 기상식각에 의한 실리콘 표면 미세 가공

장원익*, 최창억*, 이창승*, 홍윤식*, 이종현*, 백종태*, 김보우*

Silicon Surface Micro-machining by Anhydrous HF Gas-phase Etching with Methanol

W. I. Jang*, C. A. Choi*, C. S. Lee*, Y. S. Hong*, J. H. Lee*, J. T. Baek*,
and B. W. Kim*

요 약

실리콘 표면 미세가공에 있어서, 새로 개발된 HF 기상식각 공정은 미소구조체들을 띄우는데 매우 효과적임을 입증하였다. 무수 불화수소와 메탄올을 이용한 기상식각 시스템에 대한 기능 및 특성을 기술하였고, 실리콘 미세구조체를 띄우기 위한 희생층 산화막들의 선택적 식각특성이 고찰되었다. 구조체층으로는 인이 주입된 다결정실리콘이나 SOI 기판의 단결정실리콘을 사용하였다. 희생층으로는 TEOS 산화막, 열산화막, 저온산화막을 사용하였다. 기존 습식식각과 비교해 볼 때, 공정에 기인된 고착현상이나 잔류물질이 없는 미세구조체를 성공적으로 제작하였다.

Abstract

In silicon surface micro-machining, the newly developed GPE(gas-phase etching) process was verified as a very effective method for the release of highly compliant micro-structures. The developed GPE system with anhydrous HF gas and CH₃OH vapor was characterized and the selective etching properties of sacrificial layers to release silicon micro-structures were discussed. P-doped polysilicon and SOI(silicon on insulator) substrate were used as a structural layer and TEOS(tetraethyorthosilicate) oxide, thermal oxide and LTO(low temperature oxide) as a sacrificial layer. Compared with conventional wet-release, we successfully fabricated micro-structures with virtually no process-induced stiction and residual product.

I. 서 론

표면 미세가공(surface micro-machining)에서 중요한 제조공정의 하나는 희생층(sacrificial layer)인 산화막을 선택 식각하여 미세구조체(micro-structures)를

띄우는 것이다. 이와 같이 미세구조체를 기판으로부터 띄울 때 희생층인 산화막의 식각은 HF에 의한 습식 식각방법이 가장 널리 알려져 있다^[1]. 그러나 산화막 식각 후, 세정 및 건조시 미소구조체가 표면장력에 의한 모세관력(capillary force) 때문에 하부 기판에 달라 붙는 고착현상(stiction problem)이 발생한다^[2,3]. 이러한 현상을 제거하기 위하여 다결정 실리콘을 거칠게 만들

* 한국전자통신연구원 반도체연구단 (Semiconductor Technology Division, Electronics and Telecommunications Research Institute)
<접수일자 : 1997년 10월 20일>

어 표면적을 넓혀 접촉면을 감소시키거나, NH₄F로 실리콘을 식각함으로써 표면을 비친수성(hydrophobic)으로 만드는 방법과 초임계 유체의 상전이 특성을 이용하는 초임계 이산화탄소 건조 (supercritical CO₂ drying) 방법이 연구되고 있다^[4]. 또한, HF 습식식각을 대신하는 새로운 방법으로서 낮은 압력에서 HF/H₂O 증기를 사용하여 산화막 표면에 응축된 액체층이 산화막과 반응하는 증기상 식각(vapor-phase etching)공정이 개발되고 있다^[5]. 최근에 기상 식각(GPE) 공정이 개발되었으나 공정조건에 따라 메탄올(CH₃OH)과 무수 불화수소(anhydrous HF) 사이의 화학반응으로 발생하는 H₂O가 다결정 실리콘인 미세구조체의 모서리 부분이나 끝부분에서 건조되면서 고착현상이나 식각후 잔류물질(residual product)이 발생하는 문제점을 보이고 있다^[6]. 따라서 이러한 문제점들을 해소하기 위하여 무수 불화수소의 분압을 높여 식각율을 향상하고 H₂O의 열역학적 성질을 이용하여 공정시 발생하는 H₂O를 효과적으로 제거함으로써 잔류물질이나 고착현상 없이 미세구조체를 띄울 수 있는 재현성 있는 공정을 확립할 필요가 있다.

본 논문에서는 무수 불화수소과 메탄올에 의한 기상 식각 공정으로 다결정 실리콘(polysilicon)이나 SOI 웨이퍼를 이용한 미세 구조체 하부에 있는 희생층인 여러가지 산화막을 선택 식각하여 잔류물질이나 고착현상 없이 미세구조체를 띄우는 최적 방법과 식각특성에 대하여 기술하였다.

II. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용된 무수 불화수소 기상식각 장치의 개략도와 사진을 Fig. 1에 나타내었다. 반응실의 내부는 무수 불화수소에 의한 부식을 방지하기 위하여 테프론 코팅(teflon coating)이 되어 있다. 산화막의 식각은 자동 유량조절기(mass flow controller)에 의해 공급되는 무수 불화수소(순도 99.9%)와 캐리어가스(carrier gas)인 질소를 버블러(bubbler)에 주입하여 발생하는 메탄올(순도 99.9%) 증기를 사용하였다. 이때 불화수소의 공급 압력을 10psi로 항상 일정하게 하여 자동 유량조절기의 유량에 대한 변동이 발생되지 않도록 유지하였다. 식각 후 발생하는 부 생성물질은 Hiden사(model HAL/3F)의 4극 질량분석기(quadrupole mass spectrometer)로 분석하였다.

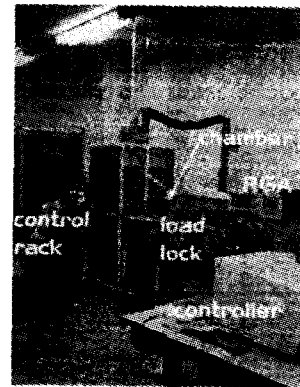
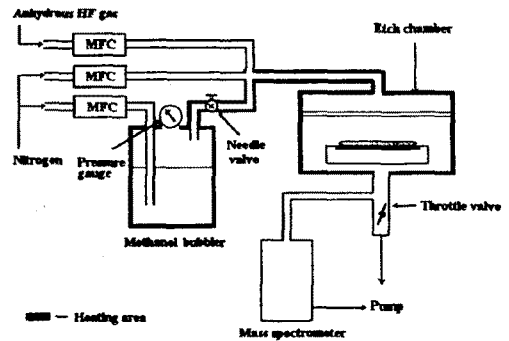
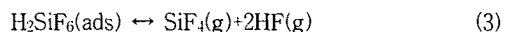
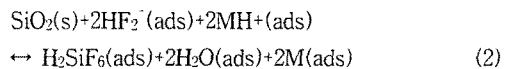
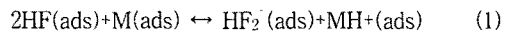
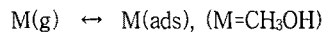
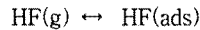


그림 1. 기상식각 장치의 개략도와 사진.
Fig. 1. Schematics and photograph of a GPE system.

무수 불화수소에 의한 산화막 식각과정을 화학반응식으로 살펴보면 다음과 같다^[7].



먼저 산화막 기판에 흡착된 불화수소과 메탄올은 식(1)과 같이 HF₂⁻(ads)로 이온화가 되며, 이 흡착된 HF₂⁻는 습식식각에서와 같이 가장 중요한 식각 반응인 자이다. 이 식각과정에서의 다른 부산물로서 식(2)에서와 같이 H₂SiF₆(ads)를 생성시킨다. 이것은 식(3)에서 보듯이 SiF₄(g)와 HF(g)로 분해되어 기판 위에 잔류물

을 발생시키지 않고 물이나 메탄올처럼 기화된다.

다결정 실리콘의 미소구조체의 제작과정을 Fig. 2에 나타내었다. 실험에 사용된 실리콘 기판은 결정면이 <100> 이고, 비저항이 5-8 Ω cm인 P형 실리콘 5인치 웨이퍼이다. 먼저 실리콘 웨이퍼와 소자의 절연을 위해 산화막을 2000Å 성장한 후 다결정 실리콘을 LPCVD 방법으로 3000Å 증착하였고, 다른 시료는 산화막 위에 질화막을 LPCVD 방법을 이용하여 3000Å 증착하였다.

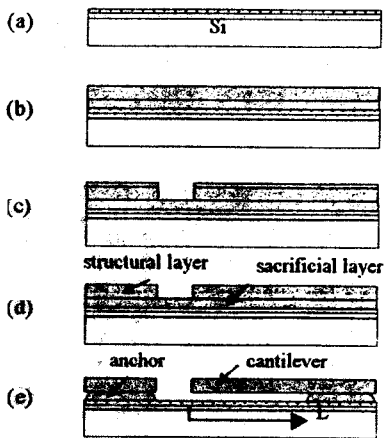


그림 2. 다결정 실리콘의 미소구조체의 제작과정.

- (a)산화막/다결정실리콘 (또는 질화막),
- (b)TEOS(또는 LTO 또는 열산화막)/다결정 실리콘/TEOS (c)RIE^[8]에 의한 패터닝,
- (d)다결정실리콘 식각, (e)POCl₃ 도핑 및 어닐링, (f)TEOS 기상식각(또는 LTO 또는 열산화막).

Fig. 2. Process sequences for the fabrication of the polysilicon micro-structure. (a)SiO₂/poly-Si(or Si₃N₄), (b)TEOS (or LTO or thermal oxide)/poly-Si/TEOS, (c) patterning by RIE^[8], (d)poly-Si etching, (e)POCl₃ doping and annealing and, (f)GPE of TEOS (or LTO or thermal oxide).

희생층 산화막으로서 TEOS를 2 μ m 증착한 후에 미소구조체로 사용될 다결정 실리콘을 2 μ m 증착하였다. 다결정 실리콘은 전기전도체로 사용되어야 하므로 POCl₃을 이용하여 인(phosphorus)을 10²⁰/cm³ 도핑(doping)하였고, 다결정 실리콘의 잔류응력을 완화시키기 위하여 열처리를 1000°C에서 1시간 수행하였다^[9]. 마지막으

로 다결정 실리콘의 건식식각을 위한 마스크 재료로서 TEOS를 증착하고, PR 마스크를 사용하여 패턴을 형성한 후에 기상 식각공정을 이용하여 희생층인 산화막을 식각하였다. 희생층 식각후 기판 표면은 SEM으로 관찰하였고, 질화막 기판 위의 잔류물질은 AES(Auger Electron Spectroscopy)를 이용하여 분석하였다.

III. 실험결과 및 고찰

일반적인 GPE 공정조건은 압력이 50torr, 온도가 25°C, 메탄올 버블러 압력이 10psi, 공정 시간이 2000sec이다. GPE 공정 후 SEM사진인 Fig. 3에 보면 하부 전극인 다결정실리콘 표면, comb 부분, 캔티레버(cantilever) 형태의 미세구조체 부분에 희생층인 산화막이 완전히 식각되지 않았다. 특히, 공정 후 시편의 표면을 살펴보면 동심원으로 동일한 크기의 H₂O가 마른 흔적들이 규칙적으로 분포되어 있는 것으로 보아,

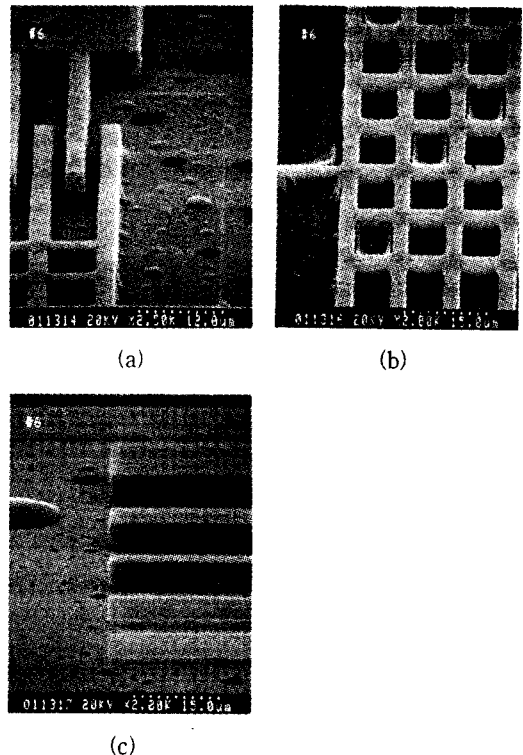


그림 3. 일반적인 기상식각에 대한 SEM 사진들 (a)감지전극, (b)콤, (c)캔티레버.

Fig. 3. SEM photographs for a general GPE process (a)sensing electrode, (b)comb, (c)cantilever.

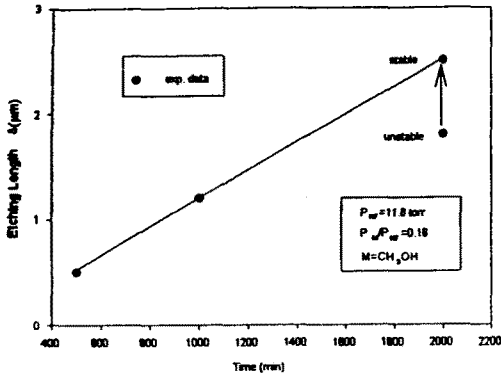


그림 4. 2.0 μ m TEOS 높이의 미소채널내에서 시간에 따른 식각깊이.

Fig. 4. Etching lengths in a micro-channel with 2.0 μ m TEOS height as a function of time.

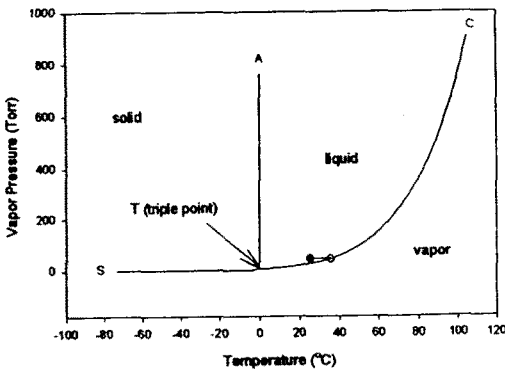


그림 5. 물의 상평형도^[12].

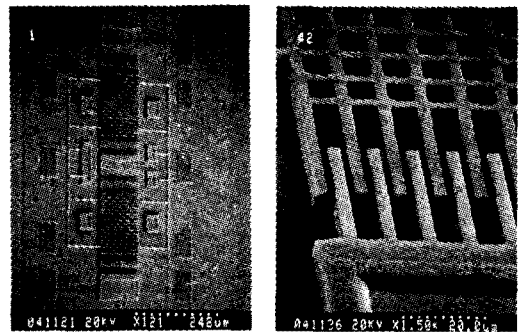
Fig. 5. Phase diagram for H₂O^[12].

샤워헤드(shower head) 부분에서 메탄올과 무수 불화 수소 사이의 화학반응식(2)로 발생된 H₂O가 시편 표면에 떨어졌다가 부분적으로 기화되면서 흔적을 남기는 것으로 추정된다. 그리고 Fig.3(c)에서 보듯이 공정시 발생된 H₂O가 다결정 실리콘인 미세구조체의 모서리 부분이나 캔티레버의 끝부분을 고착시켜 절대로 띄워지지 않는다.

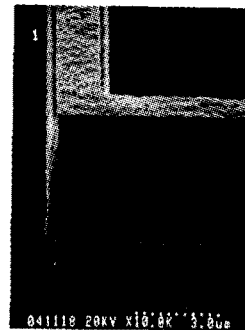
이는 Fig.4에서 보면 동일한 기존 공정조건에서 메탄올 버블러의 전체 압력이 변하여 공정이 불안정하다는 것은 평형상태에서 메탄올의 압력이 P_{CH3OH} (≈P_{vap})가 일정하다고 가정할 때 P_{bubbler} = P_{N2} + P_{CH3OH} (≈P_{vap}) 이므로 캐리어 가스인 질소(N₂)의 분압 P_{N2}이 변

한다는 것을 알 수 있다. 결국, 전체적인 압력(P = P_{HF} + P_{CH3OH} + P_{N2})이 동일할 때 불화수소, 메탄올, 질소에 대한 분압이 변동하게 된다. 따라서 희생층 식각율에 결정적으로 영향을 미치는 불화수소의 분압이 변하면서 식각율 (Each Rate ∝ P_{HF}² × P_{CH3OH})이 달라지고^[10], 그 결과 희생층 TEOS 산화막이 Fig.3과 같이 완전히 식각되지 않는다.

GPE 장비로 희생층을 식각할 때, 다결정 실리콘인 구조체의 고착현상을 방지하기 위해서는 Fig.5의 상평형도에서 압력을 낮추거나 온도를 증가시키거나 이들을 동시에 적용함으로써 공정 중에 발생하는 H₂O를 제거하여야 한다^[11].



(a) (b)



(c)

그림 6. 낮은 압력에서 일반적인 기상식각에 대한 SEM 사진들 (a)전체적인 평면도, (b)감지전극, (c)스프링.

Fig. 6. SEM photographs for a general GPE process condition at reduced pressure (a)overall plane view, (b)sensing electrode, (c) spring.

일반적인 공정조건에서 공정압력을 25 torr까지 낮추어 실험한 결과, Fig.6의 (a)와 (b)에서 보듯이 TEOS 산화막의 식각은 양호하나 comb driver를 지지하는 스프링(spring)의 하부에 TEOS의 일부가 잔류하고 있음을 (c)에서 확인할 수 있다. 또한 일반적인 공정조건에서 공정압력을 75torr까지 증가시켜 실험해 보면 전체적으로 시편 위에 더 많은 H₂O가 생성되는 사실도 확인할 수 있다.

전술한 바와 같이, 이번에는 온도를 증가시키는 방법을 도입하여 공정을 수행하였다. Fig.7은 온도에 따른 H₂O와 메탄올의 vapor pressure에 대한 변화를 나타낸 것이다. 여기에서 공정압력이 50torr에서 H₂O는 온도가 40°C 이상 되어야 증기로 기화될 것이라고

추정되며, 메탄올은 온도가 10°C 이상에서 증기압이 공정압력보다 높기 때문에 같은 온도에서 H₂O보다 먼저 기화됨을 예측할 수 있다.

즉, H₂O는 공정압력이 50torr 일때 온도가 40°C 이상 되어야 증기로 기화하지만 기판의 온도가 증가하면 산화막의 표면에 흡착되는 reactant species가 감소되기 때문에 Fig.8에서 보듯이 TEOS 산화막의 식각율이 급격히 줄어든다.

따라서 GPE 공정온도는 현재의 공정온도인 25°C (room temperature) 일 때 보다 식각을 차원에서 50% 수준인 35°C로 선정하고 공정시간을 1.5배로 증가시켰다. 기판의 온도를 35°C로 유지 시키는 방법으로는 반응실 하부에 설치되어 있는 독립적인 히터(heater)를 사용하는 것이 아니라 반응실 전체를 감싸고 있는 히터를 64.5°C로 유지함으로써 기판의 온도가 공정온도로 유지되도록 하였다.

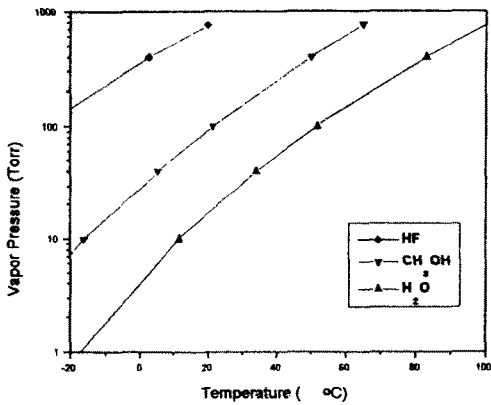


그림 7. 온도에 따른 불화수소, 메탄올과 물의 증기압.
Fig. 7. Vapor pressure of HF, methanol, and water as a function of temperature^[7].

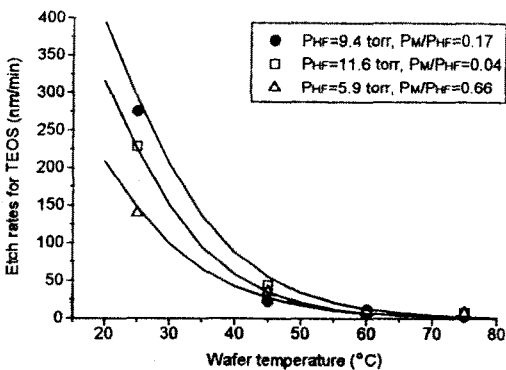
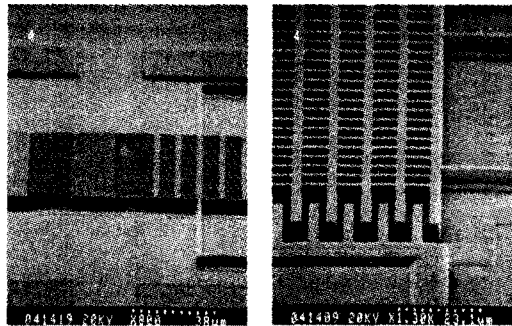
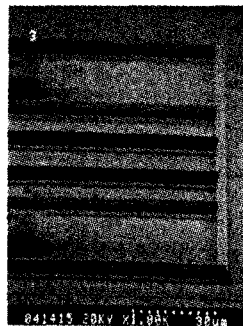


그림 8. 웨이퍼 온도에 따른 TEOS 산화막의 식각율^[7].
Fig. 8. Etch rate of TEOS oxide as a function of wafer temperature^[7].



(a) (b)



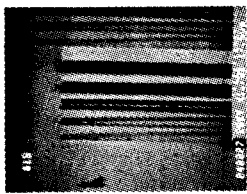
(c)

그림 9. 35°C 온도에서 새로운 기상식각 공정에 대한 SEM 사진들 (a)콤, (b)감지전극, (c)스프링.
Fig. 9. SEM photographs for a new GPE process condition at 35°C temperature (a)comb, (b)sensing electrode, (c) spring.

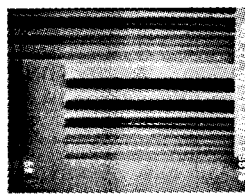
표. 1. 공정조건과 실험결과에 대한 전체적인 요약.

Table. 1. Summary for experimental results as process conditions.

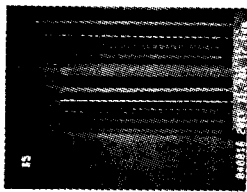
	공정조건				실험결과
	Pressure	Temp.	Time	P _{bubbler}	
#1	50 torr	25°C	2000s (34min)	10 psi	<ul style="list-style-type: none"> o 일반적인 공정조건 o 시편에 H₂O 흔적 존재 o 회생층(TEOS) 식각 불량 <ul style="list-style-type: none"> - $ER \propto P_{HF}^2 \times P_{CH_3OH}$ - $P_{bubbler} = P_{N_2} + P_{CH_3OH} (\approx P_{vap})$ - $P = P_{HF} + P_{CH_3OH} + P_{N_2}$
#2	75 torr	25°C	1500s (25min)	5 psi	<ul style="list-style-type: none"> o 전체적으로 H₂O 생성 확인 <ul style="list-style-type: none"> - 화학반응식 (2) o H₂O의 상평형도: vaporize <ul style="list-style-type: none"> - 공정 압력 감소 및 온도 증가
#3	25 torr	25°C	4000s (70min)	5 psi	<ul style="list-style-type: none"> o 회생층(TEOS) 식각 양호 o 고착현상 존재 <ul style="list-style-type: none"> - H₂O 미량 존재
#4	50 torr	avg. 35°C	3000s (50min)	5 psi	<ul style="list-style-type: none"> o 최적화된 공정조건 o 회생층(TEOS) 완전 식각 <ul style="list-style-type: none"> - 구조체 release 완료 - T_{wall} = 64.5°C



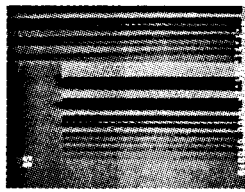
(a) step #1



(b) step #2



(c) step #3



(d) step #4

그림 10. 여러 가지 두께의 캔틸레버 빔들이 띄워지는 순서도.

Fig. 10. Release sequence of cantilever beams with various widths.

결과적으로 새로운 공정조건에서는 일반적인 공정조건에서 온도를 증가시키고 버블러의 압력을 감소시킨 반면에 공정시간을 1.5배 증가시켰다. 즉 압력이 50torr, 온도가 35°C, 버블러의 압력이 5psi, 공정 시간이 3000sec로 공정한 결과, Fig.9의 SEM사진에 보듯이 하부 전극인 다결정실리콘 표면, comb 및 지지 스프링 부분, 캔틸레버 부분 등 모든 TEOS산화막이 완전히 식각되었으며, 모든 구조체가 고착현상없이 Fig.10의 순서(sequence)와 같이 재현성있게 띄워졌다. 또한 공정 중에 발생하는 stress를 annealing 처리하여 제거함으로써 comb drive부분이 전혀 활처럼 휘어지지 않는 마이크로 자이로스코프의 제작 공정이 역시 확립되었음을 알 수 있다. 지금까지 수행한 공정에 대한 실험조건과 실험결과에 대한 전체적인 요약을 <Table 1>에 나타내었다.

다음은 SOI 구조체를 이용한 자이로스코프의 회생층인 열 산화막(thermal oxide)에 대한 습식 식각(wet etch)후 기상 식각한 결과를 나타내었다. SOI 웨이퍼를

이용한 자이로 구조체를 제작하기 위한 실험시편은 N-type의 30 - 50Ωcm인 <100> 단결정실리콘 기판으로서 절연체인 2μm의 열 산화막과 인이 도핑(doping)된 7.5-8.5μm의 에피층(epi layer)으로 구성되어 있다.

기상 식각 공정은 단결정 실리콘의 구조체 밑에 희생층인 TEOS 산화막을 제거할 때와 동일한 공정 조건으로 수행하였다. 즉 공정조건은 chamber 압력이 50torr, 기판의 온도가 35°C, 버블러의 압력이 5psi로 하고, 공정 시간은 남아 있는 열 산화막을 충분히 제거할 수 있도록 정하여야 한다.

열 산화막은 기존의 TEOS 산화막 보다 막질(film quality)이 치밀(dense)하기 때문에 기상 식각을 수행하기 전에 반드시 습식 식각을 통하여 일차적으로 적당한 두께 만큼 식각을 하는 것이 좋다. 왜냐하면 기상 식각에 의한 희생층 식각율은 TEOS인 경우 약 400Å/min이지만 열 산화막의 식각율은 Fig.11에 보듯이 분당 55Å 밖에 되지 않아 희생층을 제거하려면 공정 시간이 너무 오래 소요되기 때문이다.

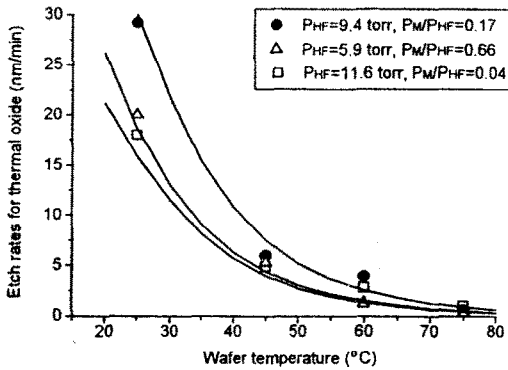


그림 11. 웨이퍼 온도에 따른 열산화막의 식각율^[7].
 Fig. 11. Etch rate of thermal oxide as a function of wafer temperature^[7].

습식 식각은 6:1 Buffered HF 용액을 사용하였으며, 12분과 15분 동안 식각을 수행하였다. Fig.12(b)는 15분 동안 습식 식각한 후의 하부 기판 <100> 단결정실리콘의 표면과 상부 구조체인 인이 주입된 단결정실리콘의 하부면을 SEM 사진으로 보여주고 있으며, MPV-SP(Leitz사)로 측정한 열 산화막의 두께가 1.8μm 임을 알 수 있다. 이를 기준으로 습식 식각에 대한 열 산화막의 식각율을 계산한 결과, 기상 식각을 해야 할 평균 공정시간은 5400sec였으며, 습식 식각율은 평균 1250Å/min 임을 알 수 있었다.

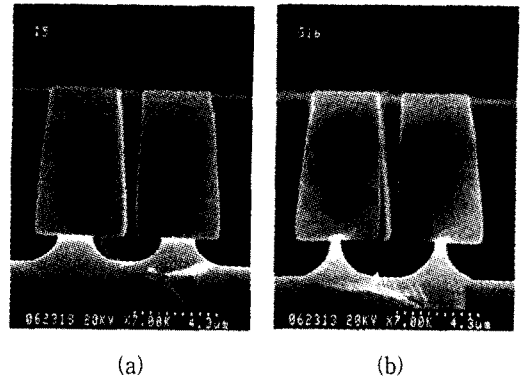


그림 12. (a) 12분, (b) 15분 동안 6:1 BHF 습식 식각 후 SEM 사진들.
 Fig. 12. SEM photographs after 6:1 BHF etching for (a)12 and (b)15 minutes.

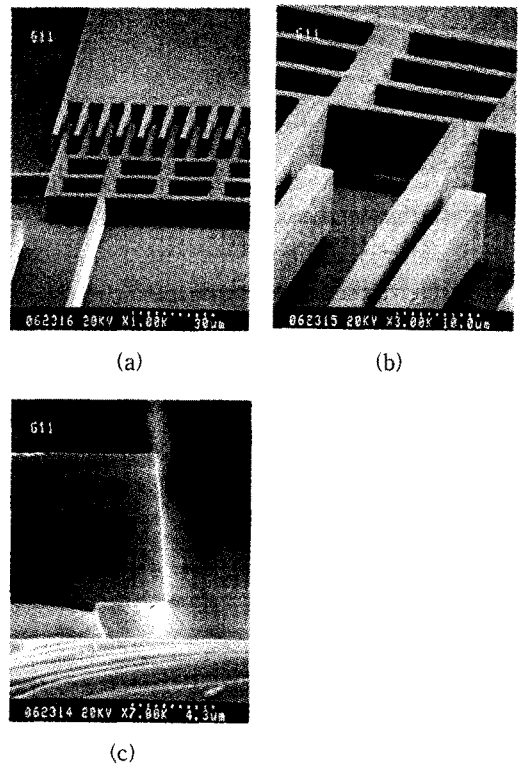


그림 13. 기상식각후 SOI 미세구조체에 대한 SEM 사진들 (a)스프링과 콤, (b)감지전극, (c)접촉패드.
 Fig. 13. SEM photographs for SOI micro-structures after gas-phase etching (a)spring and comb, (b)sensing electrode, (c)contact pad.

기상 식각은 먼저 열 산화막의 두께가 얇은 시편에 대하여 수행하였으며, 그 결과를 Fig.13에 나타내었다. 스프링(Spring) 및 comb driver부분, 감지 전극(sensing electrode) 부분, contact pad 부분 뿐만 아니라 하부 전극의 표면 등 모든 열 산화막이 완전히 식각되었으며, 모든 구조체가 고착현상없이 띄워졌다. 이때 희생층이 열 산화막인 경우의 식각율은 55Å/min이고, 접촉 패드 하부에 있는 TEOS 산화막의 식각길이는 0.30µm/min이지만 열 산화막의 식각길이는 0.04µm/min로 매우 적음을 알 수 있었다.

여기에서는 마이크로 사이로스코프의 희생층인 LTO에 대한 HF 기상 식각특성과 함께 식각후 잔류물질에 대한 AES 분석 결과를 나타내었다. 시편은 실리콘 기판 위에 열산화막(3000Å)/질화막(1000Å)/다결정 실리콘(1000Å, 하부전극)/LTO(1.5µm, 희생층)/다결정실리콘(5.3µm, 상부전극)으로 구성되어 있다. 기존의 결과를 살펴보면, 다결정 실리콘 위의 희생층인 TEOS를 식각한 후에는 표면에 잔류물질이 관찰되지 않았다. 그러나 질화막(3000Å) 위의 TEOS나 질화막(1000Å) 위의 LTO를 식각한 후에는 기판 표면에서 잔류물질이 관찰되었다. Fig.14는 GPE 공정을 2500sec 동안 수행한 후의 SEM 사진들이다. 이때 LTO를 식각한 후에는 (a)에 보듯이 열산화막 위에 잔류물질이 관찰되었다. 또한 질화막의 일부는 HF 가스에 의한 화학반응으로 인해 식각되었으며, 나머지는 질화막/LTO가 버섯형태로 열산화막 위에 island 처럼 광범위하게 분포되어 있음을 (b)에서 알 수 있다.

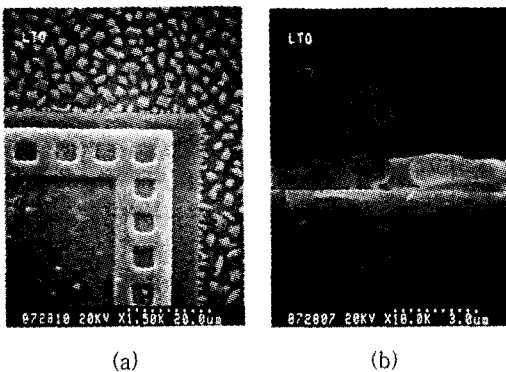


그림 14. 희생층 LTO의 2500초 HF 기상식각 후 산화막 표면의 SEM 사진들.

Fig. 14. SEM photographs of oxide surface after 2500sec HF gas-phase etching of a LTO as a sacrificial layer.

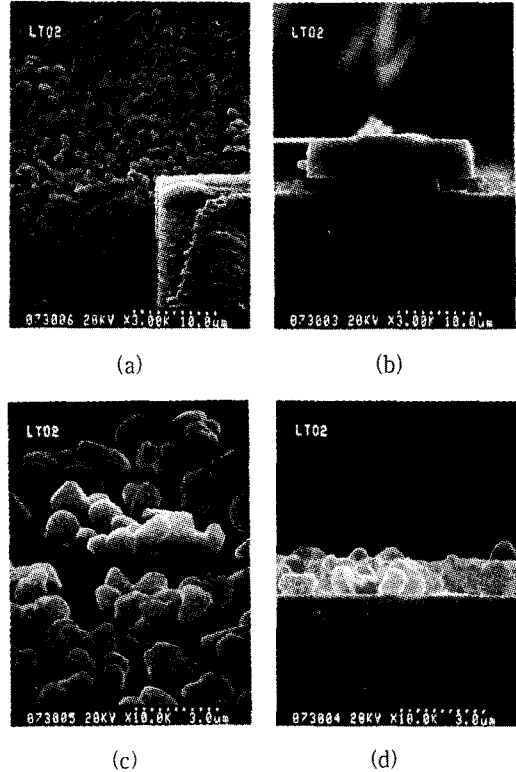


그림 15. 희생층 LTO의 3500초 HF 기상식각 후 질화막 표면의 SEM 사진들.

Fig. 15. SEM photographs of nitride surface after 3500sec HF gas-phase etching of a LTO as a sacrificial layer.

Fig.15는 GPE 공정을 3000sec 동안 수행한 후의 SEM 사진들이다. LTO를 조금 더 식각한 후에도 (a)를 보면, 열산화막 위에 역시 잔류물질을 관찰할 수 있었다. (b)를 보면 질화막이 캔티레버의 바로 밑부분을 제외하고 HF와의 화학반응에 의해 식각되어 거의 다 날아가고 아주 소량이 LTO 하부에 존재하여 전체적으로 (c,d)와 같이 결정형태로 분포되어 있음을 알 수 있다.

Fig.16은 열 산화막/질화막 위에 있는 LTO를 식각하여 발생된 잔류물질을 분석한 AES 스펙트럼 분포도로서 다량의 실리콘, 산소와 함께 소량의 질소, 불소가 검출되었다. 질소는 열산화막 위에서는 검출되지 않았으며, 결정형태로 된 부분의 표면에서는 없지만 240Å 이상 식각하면 소량이 계속 존재하는 것으로 나타났다. 따라서 질화막(3000Å) 위에 있는 TEOS를 식각하여 열산화막 위에서 발생된 잔류물질이 SiO_xN_y 형태로 관찰된 것과 같이¹⁶⁾ LTO도 Si 결합상태인 SiO₂ 조성이

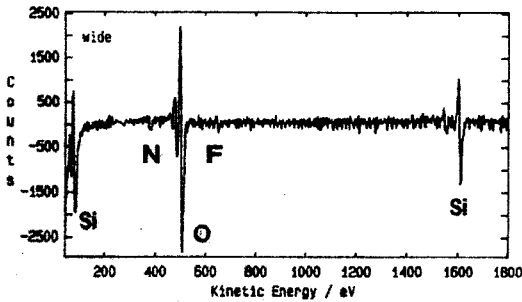


그림 16. LTO 식각후 열산화막 표면에 있는 잔류 물질에 대한 AES 스펙트럼 분포도

Fig. 16. AES profiles of the residual products on the oxide surface after LTO etching.

질화막과 섞여 SiO_xN_y 형태로 존재함을 알 수 있다. 그러나 LTO를 희생층으로 사용한 경우에는 다량의 질화막이 HF 가스와의 화학반응으로 거의 식각되고 아주 소량만 잔류하는 것을 보여준다. 불소는 측정 beam을 주사할 경우 떨어져 나가는 특성이 있는데도 불구하고 검출되는 것으로 보아 상당량이 표면에 존재하는 것으로 추정된다.

희생층 산화막인 LTO를 GPE한 경우에는, HF 가스와의 화학반응에 의해 질화막이 거의 식각되었다. 따라서 희생층인 LTO가 완전히 식각되지 않고 열산화막 위에 잔류물질로 남아있기 때문에 다결정 실리콘의 미소구조체를 띄우기 위한 희생층으로 사용하기 어려운 것으로 생각된다.

IV. 결 론

무수 불화수소와 메탄올에 의한 기상 식각 장치로 다결정 실리콘이나 SOI 구조체 밑에 있는 희생층인 TEOS, LTO 및 열 산화막을 식각하여 미세 구조체를 고착현상 없이 띄울 수 있도록 하기 위한 최적화 공정을 확립하였다. 기존 방법은 산화막에 대한 식각율이 낮았으나 메탄올 버블러의 압력을 감소시키고 불화수소의 분압을 높임으로써 TEOS 산화막의 식각율을 증가시킬 수 있었다. 또한 구조체의 고착현상을 방지하기 위해서는 메탄올과 불화수소가 반응하여 발생하는 H_2O 를 기판에서 제거해야 하므로 반응로 벽면을 가열하여 공정온도로 높이는 대류 열전달을 이용함으로써 재현성 있는 GPE 공정을 확립하였다.

한편 희생층 산화막인 LTO를 GPE한 경우에는, 질

화막이 거의 식각 되었으나 산화막 위에 잔류물질이 생성되었다. AES로 잔류물질의 구성을 분석한 결과, LTO의 Si 결합상태인 SiO_2 조성이 소량의 질화막과 반응하여 증발되지 않는 SiO_xN_y 형태로 변하기 때문에 다결정 실리콘의 미소구조체를 띄울 수가 없었다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부의 연구비 지원을 받아 수행되었으며, 실험 및 토의에 많은 도움을 주신 지니텍사의 이춘수 박사께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] J. Liu et al., In situ Monitoring and Universal Modeling of Sacrificial PSG Etching Using Hydrofluoric Acid, IEEE Micro Electro Mechanical Systems, pp.71-76 (Feb. 1993)
- [2] R. Legtenberg, J. Elders, and M. Elwenspoek, Stiction of Surface Micromachined Structures after Rinsing and Drying: Model and Investigation of Adhesion Mechanisms, Int. Conf. on Solid-State Sensors and Actuators (Transducers 93), Yokohama, Japan, June 1993, pp. 198-201
- [3] C. H. Mastrangelo, and C. H. Hsu, 1993, Mechanical Stability and Adhesion of Microstructures Under Capillary Forces - Part I : Basic Theory, J. MEMS, vol. 2, no.1, pp. 33-43.
- [4] G. T. Mulhern, D. S. Soane, and R. T. Howe, Supercritical Carbon Dioxide Drying of Microstructures, Int. Conf. on Solid-State Sensors and Actuators (Transducers '93), Yokohama, Japan, June 1993, pp. 296-299.
- [5] Y. Yee, K. Chun, and J. D. Lee, Polysilicon Surface Modification Technique to Reduced Sticking of Microstructures, Int. Conf. on Solid-State Sensors and Actuators (Transducers 95), Stockholm, Sweden, June 1995, pp. 206-209.
- [6] H. H. Chung et al., Gas-phase Etching of TEOS and PSG Sacrificial Layers using Anhydrous HF and CH_3OH , J. of the Korean Physical Society, Vol. 30, No. 3, June 1997, pp. 628-631.

- [7] C. S. Lee et al., Modeling and Characterization of Gas-Phase Etching of Thermal Oxide and TEOS Oxide Using Anhydrous HF and CH₃OH, J. Electrochem. Soc., Vol.143, No.3, pp.1099-1103, March 1996.
- [8] H. H. Park et al., A Study on Modified Silicon Surface after CHF₃/C₂F₆ Reactive Ion Etching, J. ETRI, Vol.16, No.1, pp.45-57 (1994).
- [9] M. A. Benitez, Stress profile characterization and test structures analysis of single and double ion implanted LPCVD polycrystalline silicon, Transducers 95, pp.88-91 (1995)
- [10] 이춘수, 반도체 소자 제조 중 웨이퍼 세정공정에 관한 연구, 한국과학기술원, 박사학위 논문, pp. 40-59, Feb. 1996.
- [11] Randall F. Barron, Cryogenic Systems, 2nd edition, Oxford University Press, Inc., pp. 151-236, 1985.
- [12] 이길상의 5명, 일반화학, 광림사, pp.381-394, Feb. 1976.

 著 者 紹 介



장원익 (張元翼)

1961년 4월 15일생. 1982년 경북대 기계공학과 졸업(학사), 1982년 경북대 대학원 기계공학과 졸업(공학석사), 1985~현재 한국전자통신연구원 선임연구원.



최창억 (崔昌億)

1954년 2월 18일생. 1980년 경북대 공대 전자공학과 졸업(학사), 1988년 경북대 산업대학원 산업공학과 졸업(공학석사), 1980년 한국전자기술연구소 입소, 현재 한국전자통신연구원 책임연구원.



이창승 (李昌承)

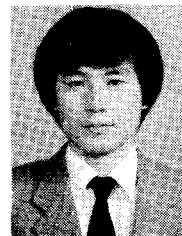
1969년 8월 9일생. 1992년 한국과학기술대학 재료공학과 졸업(학사), 1995년 한국과학기술원 전자재료공학과 졸업(공학석사), 1996년~현재 한국전자통신연구원 반도체연구단 위촉연구원, 현재 한국

과학기술원 재료공학과 박사과정



홍윤식 (洪允植)

1970년 3월 3일생. 1992년 한국과학기술원 과학기술대학 정밀공학과 졸업(학사), 1995년 한국과학기술원 정밀공학과 졸업(공학석사), 1996년~현재 한국전자통신연구원 반도체연구단 위촉연구원, 1995년~현재 한국과학기술원 기계공학과 박사과정 재학중



이종현 (李鐘洙)

1958년 3월 13일생. 1981년 서울대 공대 기계설계학과 졸업(학사), 1983년 한국과학기술원 기계공학과 졸업(공학석사), 1986년 한국과학기술원 기계공학과 졸업(공학박사), 1986년~현재 한국전자통신연

구원 반도체연구단 책임연구원



백종태 (白種泰)

1956년 5월 16일생. 1980년 한양대 금속공학과 졸업(학사), 1982년 한국과학기술원 재료공학과 졸업(공학석사), 1996년 한국과학기술원 재료공학과 졸업(공학박사), 1982년~현재 한국전자통신연구원 반

도체연구단 미세구조연구실 실장

김보우 (金輔佑)

현재 한국전자통신연구원 기반기술연구부 부장.