

논문 2000-9-3-12

다결정실리콘 표면 미세가공 기술을 위한 점착 방지법들의 성능 비교 이윤재, 한승오, 박정호

The Comparison of Stiction Results of Anti-Stiction Methods for Polysilicon Surface Micromachining Youn Jae Lee, Seungoh Han, Jungho Pak

요약

본 연구에서는 동일한 테스트 구조물을 사용하여 현재 다결정실리콘 표면 미세가공 기술에서 널리 사용되고 있는 여러 가지 점착 방지법들의 성능을 비교하였다. 테스트 구조물로는 다양한 폭과 길이를 갖는 일반적인 cantilever와 dimple, antistiction tip, plate를 가지는 cantilever를 사용하였으며 구조물 형태에 따른 점착 방지 결과를 관찰하였다. 희생층 제거 후 구조물과 기관의 점착을 결정하는 건조과정에서는 증발법과 승화건조법을 사용하였다. 증발법에서는 methanol, IPA, DI water 등을 여러 최종 세척액으로 사용하여 표면장력과 세척 온도에 따른 점착 방지 결과를 비교하였다. 승화건조법에서는 중간 세척액으로 methanol을 사용하였다. 그리고 동일한 실험조건으로 stress gradient가 있는 동일한 구조물을 사용하여 stress gradient에 의한 점착 방지 결과를 관찰하였다. 결론적으로 승화건조법이 여러 가지 증발법보다 우수한 결과를 보여주었고 다결정 실리콘 표면 미세가공 기술로 미세 구조물을 부양시킬 때 승화건조법이 가장 우수한 방법이라고 사료된다.

Abstract

This paper presents comparative results of various commonly used anti-stiction methods for polysilicon surface micromachining using identical test structures. Four different types of cantilevers - single cantilevers, cantilevers with dimples, cantilevers with anti-stiction tip, cantilevers with plate - with different widths and lengths were employed as test structures. The detachment length of cantilevers was examined depending on the anti-stiction methods and test structure types. After sacrificial layer was removed, evaporation and sublimation drying methods were used in the drying step when takes place the stiction between structure and substrate. Various final rinsing liquids such as methanol, IPA, and DI water were employed to compare anti-stiction results depending on surface tension and rinsing temperature. For sublimation drying method, methanol was used as an intermediate rinsing liquid. Also, the influence of a stress gradient of the polysilicon was investigated by performing the identical anti-stiction experiments on identical test structures with a stress gradient. In conclusion, sublimation drying method showed superior results to various evaporation drying methods and hence it is considered the best method for releasing polysilicon microstructure in polysilicon surface micromachining.

I. 서론

고려대학교 전기공학과 (Dept. of Electrical Eng.,
Korea Univ.)

<접수일자 : 2000년 4월 20일>

다결정실리콘 표면 미세가공 기술에서는 일반적으로
미세 구조물을 기관으로부터 부양시키기 위해 희생층

을 습식 식각으로 제거하고 건조시키는 과정을 포함한다. 희생층 습식 식각 후의 건조과정 중 모세관 힘으로 인해 구조물들이 기판에 접촉하게 되고 이후 solid bridging, van der Waals force, hydrogen bridging 등에 의해 구조물이 기판에 영구적으로 고정된다. 이렇게 release 과정 중에 구조물이 기판에 붙게 되는 현상을 점착이라고 한다.

구조물의 release 과정 중에 발생하는 점착은 주로 모세관 힘에 의해서 발생한다. 그러므로 모세관 힘에 의한 영향을 줄여 점착을 방지하려는 노력이 많이 시도되었다. 모세관 힘을 감소시키기 위해 표면 장력이 작은 액체를 사용하는 증발법(evaporation release), 고체 상태에서 승화시켜 모세관 힘의 발생을 제거하는 승화건조법(sublimation release), 초임계 상태에서 건조시키는 초임계 건조법(supercritical release)^[1], NH₄F를 사용하여 표면을 소수성 처리하는 NH₄F hydrogen termination treatment^[2], 구조물과 기판 표면을 hydrocarbon monolayer로 처리하는 SAM(self assembled mono-layer)^[3], 소수성을 가지는 불활성 유기박막을 사용하는 방법^[4] 등이 그 예이다.

본 연구에서는 이러한 여러 가지 점착 방지법들 가운데 비교적 공정 방법이 간단한 증발법과 승화건조법을 다양한 형태의 테스트 구조물을 이용하여 실험을 하였고 그 결과를 비교, 분석하였다. 그리고 공정 중의 세척액 온도에 의한 영향을 분석하였으며, 구조물에 존재하는 stress gradient에 의한 영향을 관찰하였다. 마지막으로 이상의 실험결과를 토대로 구조물의 형태에 따른 적절한 점착 방지법을 제시하였다.

II. 본론

1. Stiction model

희생층을 제거하여 구조물을 기판으로부터 부양시키기 위한 희생층 제거 과정 후의 세척 과정에서 미세 구조물의 점착 모델에 고려되어야 하는 에너지들은 모세관 힘에 의해 구부러진 미세 구조물에 저장되는 탄성 에너지, 기판과 구조물이 접촉된 영역에서의 표면 에너지, 세척액의 표면 장력에 의한 에너지가 있다. 또한 구조물로 사용한 박막에 stress gradient가 존재하면 구조물이 upward bending 또는 downward bending 됨으로써 구조물의 detachment length가 변화될 수 있으므로 stress gradient 또한 고려되어야 한다.^[5]

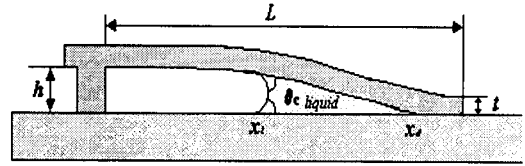


그림 1. 세척액 건조과정 중의 cantilever 구조물
Fig. 1 Schematic drawing of cantilever beam while drying the rinsing liquid

세척액의 건조과정에서는 그림 1과 같이 한쪽이 지지되는 cantilever 구조물 아래에 존재하는 세척액이 제거되면서 작용하는 모세관 힘에 의해 구조물이 기판 쪽으로 끌어당겨져 기판과 접촉하게 된다.

먼저 stress gradient가 없다고 가정하면 위의 그림과 같은 cantilever 구조물의 전체 에너지(U_T)는 cantilever 빔의 구부러짐에 의한 탄성 에너지(U_E), 세척액과 고체 구조물 사이의 표면장력 에너지(U_L), 접촉하는 구조물과 바닥면 사이의 표면 에너지(U_S)로 이루어져 있고 cantilever가 기판에 점착된 위치를 $x=x_d$ 라고 하면 전체 에너지는 식 (1)과 같이 표현된다.^[6]

$$U_T = U_E + U_L + U_S \\ = \left[\frac{32EIh^2}{5x_d^3} \right] + [-2\gamma_L w \cos \theta_c (x_d - x_f)] \\ + [-2\gamma_S w (L - x_d)] \quad (1)$$

여기서 w 는 빔의 폭이고 γ_L 은 액체의 표면장력, γ_S 는 고체사이의 표면에너지, θ_c 는 액체와 고체 사이의 접촉각, x_d 는 detachment length, cantilever 구조물의 E 는 Young's modulus이고 I 는 다음과 같이 표현되는 cantilever의 단면 이차 모멘트이다.

$$I = \frac{wt^3}{12}$$

이때 표면장력은 식 (2)와 같은 온도의존성을 갖는다.^[7]

$$\gamma_L(T) = E_S \left(1 - \frac{T}{T_C} \right) \quad (2)$$

여기서, T_C 는 표면장력이 존재하는 임계온도이고 E_S 는 표면 자유에너지이다.

평형상태에서 $x=x_d$ 일 때 x 에 대한 U_T 의 미분값은 0 이므로 식(1)로부터 다음과 같이 정리할 수 있다.^[6]

$$x_d = \left(\frac{8Eh^2t^3}{5\left\{2\gamma_L \cos \theta_c \left(\frac{dx_L}{dx_d} - 1\right) + \gamma_S\right\}} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (3)$$

액체가 전부 증발되면 $x_d = x_L$ 이 되므로 cantilever 빔의 detachment length는 식(3)으로부터 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$x_d = \left(\frac{8Eh^2t^3}{5\gamma_S} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (4)$$

빔에 stress gradient가 존재하면 구조물이 upward bending 또는 downward bending이 되어 detachment length가 변화하게 되므로 식 (5)와 같이 표현되는 stress gradient Γ 를 고려한 모델이 필요하다.^[5]

$$\Gamma = \left(\frac{M}{I} \right)^2 = \frac{2Eu_{\max}}{L^2} \quad (5)$$

여기서 M 은 빔의 bending moment이고 u_{\max} 는 stress gradient에 의한 빔의 최대 변위이다. Bending moment M 에 의해서 구부러진 빔에 저장된 에너지 U_b 는

$$U_b = \int_0^{x_d} \frac{BM^2}{EI} dx = \frac{BM^2}{EI} x_d = \frac{B\Gamma^2 I}{E} \quad (6)$$

와 같고 stress gradient를 고려하면 평형상태에서 $x=x_d$ 일 때 x 에 대한 U_T 의 미분값은 x_d 에서의 U_b 의 미분값과 같게된다. 그러므로 식 (1)에서 U_T 대신 U_b 를 대입하여 정리하면 다음의 식 (7), (8)과 같이 된다. 따라서 downward bending($\Gamma < 0$)을 나타내는 stress gradient를 고려하는 경우 식 (7)에 의해 detachment length가 줄어들고,

$$x_d = \left(\frac{8Eh^2t^3}{5\left\{2\gamma_L \cos \theta_c \left(\frac{dx_L}{dx_d} - 1\right) + \gamma_S + \frac{2\Gamma^2 t^3}{5E}\right\}} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (7)$$

가 되고, upward bending($\Gamma > 0$)인 경우 식(8)에 의해 detachment length가 늘어나는 것을 알 수 있다.

$$x_d = \left(\frac{8Eh^2t^3}{5\left\{2\gamma_L \cos \theta_c \left(\frac{dx_L}{dx_d} - 1\right) + \gamma_S - \frac{2\Gamma^2 t^3}{5E}\right\}} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (8)$$

2. 테스트 구조물 제작

테스트 구조물은 마이크로시스템 기술센터에서 제공하는 MEMS MPC 공정을 응용하여 제작하였다. 구조 재료는 다결정실리콘을 사용하였고 희생층으로는 TEOS를 사용하였으며 그 하부에는 실리콘 기판위에 buffer oxide, 실리콘 질화막, 전극용 다결정 실리콘, 그리고 실리콘 질화막의 순서로 증착된 상태이다.

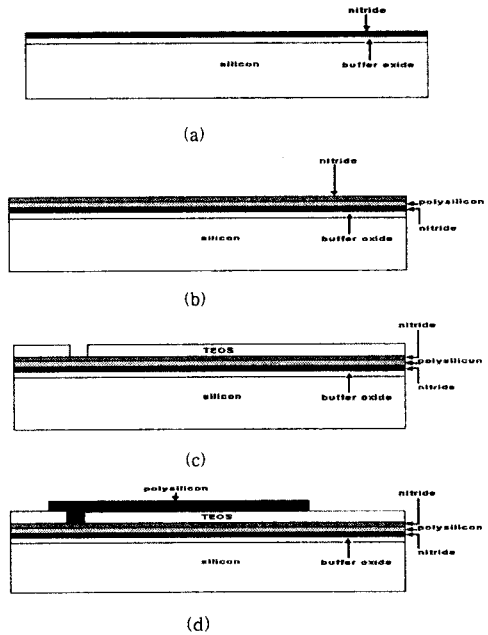


그림 2. Cantilever 구조물의 제작 공정; (a) buffer oxide/실리콘 질화막 증착, (b) 다결정실리콘/실리콘 질화막 증착, (c) TEOS 증착/패턴, (d) 다결정실리콘 증착/패턴

Fig. 2 Polysilicon cantilever fabrication process ; (a) buffer oxide/nitride deposition, (b) polysilicon/nitride deposition, (c) TEOS deposition/pattern, (d) polysilicon deposition /pattern

구조물의 제작과정은 그림 2에서 보는 바와 같이 먼저 p-type (100) 실리콘 기판 위에 buffer oxide $0.05\mu\text{m}$ 를 furnace에서 성장시키고 그 위에 실리콘 질화막

0.25 μm 를 LPCVD로 증착하였다. 이후 다결정실리콘 0.5 μm 를 LPCVD로 증착한 후 최종 바닥 재료로 사용되는 실리콘 질화막 0.25 μm 를 LPCVD로 증착하였다. 희생층으로 사용되는 2 μm 두께의 TEOS PECVD로 증착하고 anchor를 패터닝 한 후에 2 μm 두께의 다결정실리콘 구조물층을 LPCVD로 증착하고 패터하였다.

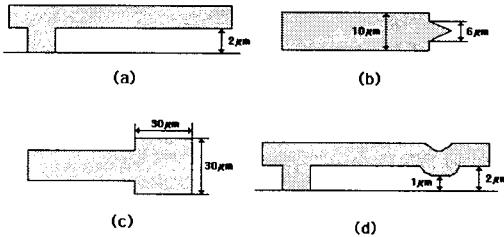


그림 3. 구조물의 형태; (a) 일반 cantilever, (b) anti-stiction tip을 가지는 cantilever, (c) plate를 가지는 cantilever, (d) dimple을 가지는 cantilever

Fig. 3 structure type; (a) common cantilever, (b) cantilever with anti-stiction tip, (c) cantilever with plate, (d) cantilever with dimple

제작된 테스트 구조물은 모두 cantilever 형태이며 끝부분의 형상에 의한 점착결과 변화를 관찰하기 위해 그림 3에서와 같이 anti-stiction tip을 포함하는 유형, plate를 포함하는 유형, dimple을 포함하는 유형을 제작하였다.

구조물들의 폭, 길이 등의 치수는 다음의 표 1과 같이 변화시켰고 dimple을 포함한 구조물의 경우 dimple의 개수를 변화시키면서 제작하였다.

표 1. 구조물의 치수

Table 1. Dimensions of test structures

	width	length			description
		50-400 μm	420-800 μm	850-1500 μm	
common	2,3,5,10,15,20 μm	10 μm increase	20 μm increase	50 μm increase	
anti-stiction tip	10 μm	10 μm increase	20 μm increase	50 μm increase	
plate	10 μm	10 μm increase	20 μm increase	50 μm increase	
dimple	10 μm	10 μm increase	20 μm increase	50 μm increase	number of dimple (1,3,5,10,entire)

3. 실험내용

점착 방지 실험은 크게 증발법과 승화건조법으로 나누어 진행을 하였다. 먼저 2 μm 의 TEOS 희생층을 제거하기 위해서 시편을 불산에 20분 동안 담근 후 실험을 진행하였다. 불산에 20분 동안 담근 후 NH_4F 를 사용하는 실험을 제외하고는 불산을 제거하기 위해 탈이온수 (DI water)로 세척하였다.

3.1 증발법

증발법 실험은 탈이온수 세척 후에 표면 장력이 작은 액체로 치환함으로써 모세관 힘을 감소시키는 방법으로 표 2에서와 같이 표면장력이 작은 methanol과 IPA를 사용하였다. 그리고 식(2)에서와 같이 고온에서 표면장력이 감소하는 효과를 관찰하기 위해 마지막 세척액을 각각 상온과 끓는점에서 치환하여 실험을 진행하였다. 그 외에 표면을 소수성으로 처리하는 NH_4F 를 사용한 실험도 진행하였다. 실험 조건 및 순서는 표 3과 같다.

표 2. 여러 가지 액체들의 표면장력 [7]

Table 2. Surface tension of various liquids

liquid	water	methanol	ethanol	IPA
$\gamma_L(\text{erg}/\text{cm}^2)$	72.75	22.61	22.75	21.7

표 3. 증발법 실험순서

Table 3. Experiment steps of evaporation dry

	experimet step			
	1	2	3	4
A1	HF, 20min	water, 15min, RT		
A2	HF, 20min	water 15min, RT	methanol, 20min, RT	
A3	HF, 20min	water 15min, RT	methanol 20min, boil	
A4	HF, 20min	water 15min, RT	IPA, 20min, RT	
A5	HF, 20min	water 15min, RT	IPA 20min, boil	
A6	HF, 20min	NH_4F 6min, RT	4:1methanol: water, 6min	methanol 20min, RT

증발법 실험에서 주의할 점은 식각액과 세척액들 사이에서 시편을 옮길 때 표면에 액체가 남아 있는 상태에서 옮겨야 한다는 것이다. 시편을 옮길 때 표면에

액체가 남아있지 않으면 운반과정에서 구조물을 둘러싼 세척액이 흐르면서 구조물이 파손되거나 점착될 수 있다. 또 끓는 상태의 액체로 치환하는 과정에서는 액체 내부에서 발생하는 기포에 의해서 구조물이 파손될 수 있으므로 이 또한 주의해야 한다.

3.2 승화건조법

승화건조법은 액체를 p-DCB(p-dichlorobenzene), t-butyl alcohol 등의 승화건조물질로 치환한 후 승화건조물질을 고체상태로 만들어 승화시킴으로써 모세관 힘의 영향을 배제하려는 방법이다. 본 실험에서는 p-DCB를 승화건조물질로 사용하였고 p-DCB와 혼합이 잘 되는 methanol을 중간 물질로 사용을 하였다. 역시 온도에 의한 영향을 관찰하기 위해서 상온과 끓는 점에서 methanol을 치환하였다.

p-DCB에 구조물을 넣는 과정에서 용융된 p-DCB 표면이 기체에 노출되어 급격히 응고되면 구조물이 파손될 수 있으므로 표면의 p-DCB가 대기 중에 노출되어도 용융 상태를 유지할 수 있을 정도의 높은 가열 온도가 요구된다. 그리고 증발법에서와 마찬가지로 액체 치환과정에서 점착이 발생하지 않기 위한 주의가 필요하다. 자세한 실험 조건과 순서는 표 4에 나타내었다.

표 4. 승화건조법 실험내용

Table 4. Experimental steps of sublimation drying

	experiment step				
	1	2	3	4	5
B1	HF, 20min	water, 15min, RT	methanol, 20min, RT	p-DCB, 10min	sublimation
B2	HF, 20min	water, 15min, RT	methanol, 20min, boil	p-DCB, 10min	sublimation

4. 실험결과 및 분석

여러 가지 점착 방지법들의 성능 비교를 위한 테스트 구조물은 전술한 제작 공정이 끝난 후 stress gradient의 영향을 제거하기 위해 1000℃에서 2시간 동안 열처리한 후 사용하였다. 이때 점착 발생 여부는 그림 4의 사진에서 보듯이 SEM 관찰을 통해 결정하였고 뜯은 빔의 최대길이로부터 detachment length를 결정하였다.

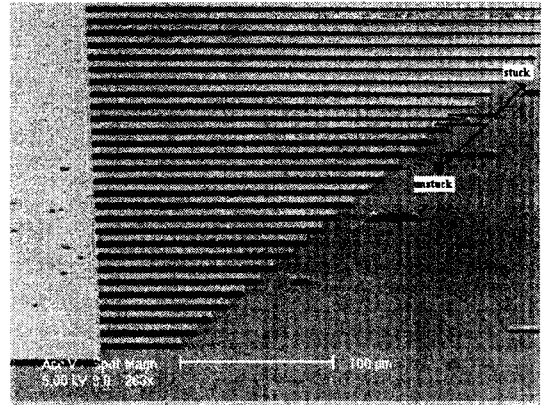
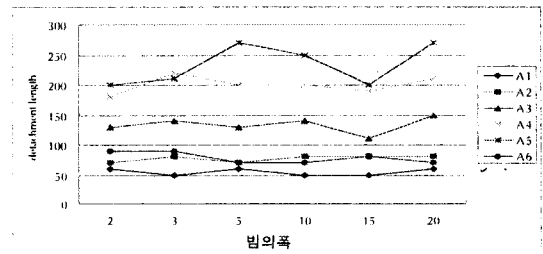
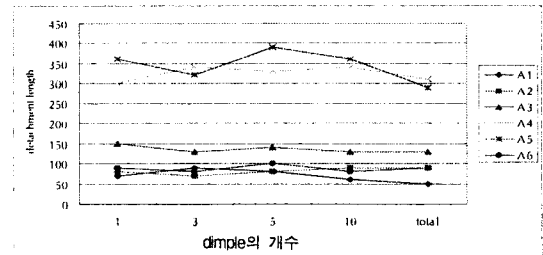


그림 4. A4 실험에서 빔의 폭이 10µm인 빔
Fig. 4 Cantilever beams having 10µm width after A4 experiment



(a)



(b)

그림 5. (a) 빔의 폭에 따른 detachment length
(b) dimple의 개수에 따른 detachment length
Fig. 5 (a) Detachment length versus beam width
(b) Detachment length versus number of dimples

먼저 빔의 폭과 dimple의 개수에 따른 detachment length의 결과를 그림 5에 정리하였는데 폭이나 dimple의 개수의 변화에 관계없이 거의 일정한 detachment length를 보여주었다. 이로부터 식 (3)에서 보듯이 detachment length에는 폭에 의한 영향이 없다는 것을 확인할 수 있으며 점착 현상이 발생하는 부분은 빔의

끝 부분이므로 dimple의 개수에 의한 영향도 없는 것을 알 수 있다.

4.1 증발법 실험결과

그림 6에서 보는 바와 같이 증발법 실험의 경우 전체적으로 60~300 μ m 정도의 detachment length를 보여 주고 있다. Methanol을 사용한 실험(A2, A3)에 비해서 IPA를 사용한 실험(A4, A5)이 다소 좋은 결과를 보여 준다. 증발율은 methanol이 IPA보다 크나 모세관 힘에 직접적인 영향을 주는 실리콘 질화막 위에서의 접촉각이 IPA가 methanol에 비해 크고 표면장력이 더 작기 때문에(표 2) IPA를 사용할 때 큰 detachment length를 보인다고 생각된다. 이는 detachment length가 $\cos \theta_c$ 와 표면장력 T_L 의 1/4승에 반비례한다는 식(3)의 내용과 일치한다.

그리고 methanol과 IPA 모두 상온에서보다 끓는점에서 세척액을 치환시킬 때 detachment length가 더 길어짐을 관찰할 수 있었다(A2의 detachment length < A3의 detachment length, A4의 detachment length < A5의 detachment length). 이는 식 (2)에서 보듯이 온도가 증가함에 따라서 표면장력이 줄어들기 때문이다.

NH₄F를 이용한 실험(A6)은 실리콘 기판을 식각하면서 표면을 H로 치환함으로써 소수성 표면을 얻는 방법인데 바닥면이 실리콘 질화막이기 때문에 실리콘 식각이 이루어지지 않아 소수성 효과를 얻을 수 없었다.

4.2 승화건조법 실험결과

승화건조법을 사용한 경우에는 850~1050 μ m 정도의 detachment length를 보여주었다. p-DCB로 치환하기 위해 상온의 methanol을 사용한 경우보다 끓는 methanol을 사용한 경우에 더 긴 detachment length가 얻어졌다(B2의 detachment length > B1의 detachment length). 끓는 methanol의 경우 증발율이 높으므로 p-DCB와의 치환이 상온의 methanol보다 더 잘 되므로 승화건조 후 남아 있는 액체의 양이 더 적기 때문에 끓는 methanol을 사용할 때 detachment length가 더 크다고 생각된다.

4.3 Cantilever 종류에 따른 실험결과

그림 7은 구조물 종류에 따른 증발법과 승화건조법의 점착 방지 결과를 보여주고 있는데, 증발법의 경우 일반 cantilever에 비해 anti-stiction tip을 포함하는

cantilever의 결과가 약간 더 좋고 dimple을 포함하는 cantilever의 결과가 가장 좋은 것을 알 수 있다.

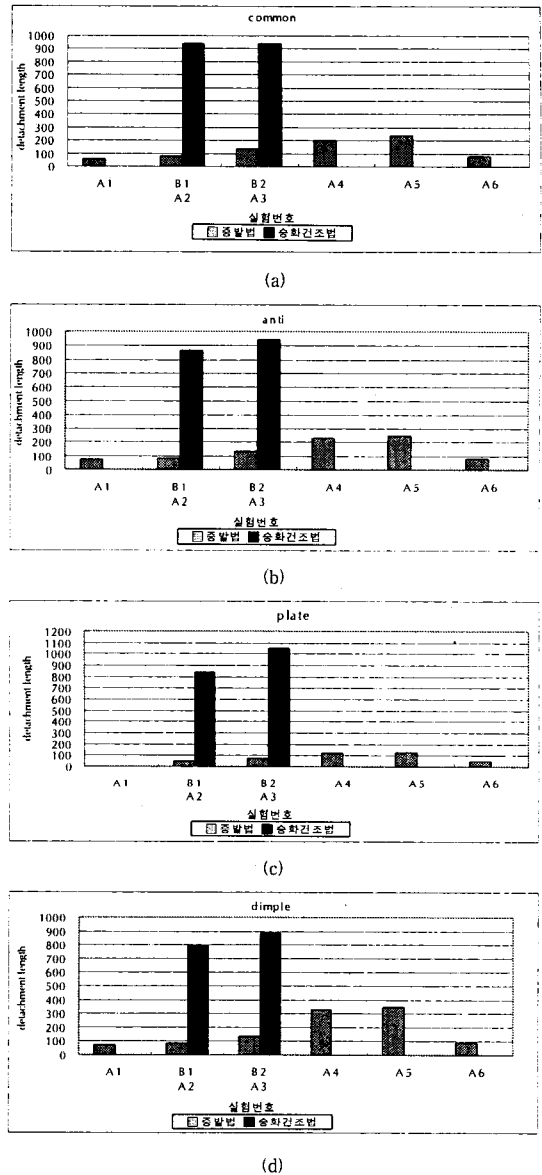


그림 6. 증발법과 승화 건조법 실험에서 detachment length 비교; (a) 일반 cantilever, (b) anti-stiction tip을 가지는 cantilever, (c) plate를 가지는 cantilever, (d) dimple을 가지는 cantilever

Fig. 6 Comparison of evaporation or sublimation released detachment length; (a) common cantilever, (b) cantilever with anti-stiction tip, (c) cantilever with plate, (d) cantilever with dimple

Anti-stiction tip을 포함하는 경우와 dimple을 포함하는 cantilever의 경우 빔 끝에서의 접촉 면적이 감소하여(식 (1)에서 w 가 감소하므로) 모세관 힘이 작용하는 면적이 감소하여 더 긴 detachment length를 보여준다. 반면 plate를 포함하는 구조물의 경우 모세관 힘이 작용하는 면적이 커지므로 detachment length는 감소한다.

승화건조법에서는 dimple을 포함하는 cantilever의 경우 오히려 약간 감소된 detachment length를 보여주는데 이는 p-DCB가 승화된 후 남은 액체의 양이 극소량이므로 dimple을 사용하여 접촉면적을 감소시켜 모세관 힘을 줄이려는 효과는 나오지 않는데 반해 기관과 구조물 사이의 실질적인 간격은 오히려 $1\mu\text{m}$ 로 감소하므로 detachment length는 더 줄어들게 된다(식 (3)에서 h 가 작아지므로 x_d 는 감소한다). 또 plate 끝에 plate를 가진 cantilever의 경우 증발법 실험의 경우와는 달리 다른 구조물과 거의 비슷한 결과를 보여주는데 액체의 양이 극소량이므로 모세관 힘이 작용하는 면적의 영향을 거의 받지 않기 때문이다.

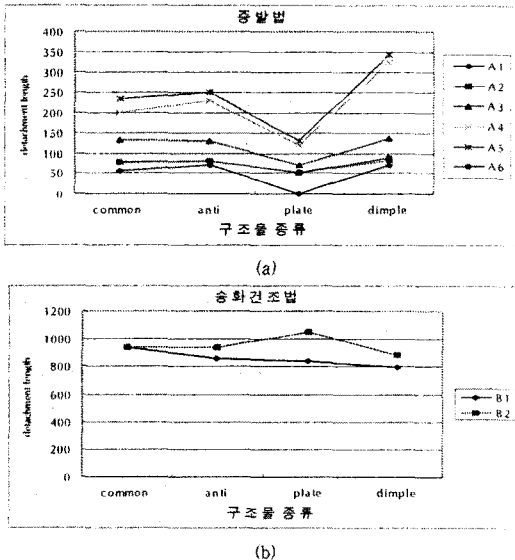


그림 7. 구조물에 따른 detachment length 비교;
(a) 증발법, (b) 승화건조법
Fig. 7 Detachment length according to structure type; (a) evaporation, (b) sublimation

4.4 Stress gradient가 존재할 때의 실험결과

그림 8은 downward bending stress gradient가 존재하는 빔의 사진이다. 빔이 휘어진 변위를 측정하여 식

(5)로부터 stress gradient를 계산할 수 있는데, 제작된 빔에 대해 stress gradient를 계산한 결과 약 $-8.7\text{MPa}/\mu\text{m}$ 의 값이 얻어졌다.

그림 9는 stress gradient를 가지는 빔에 대해서 전술한 점착 방지법들을 실험한 결과이다. 실험결과 증발법에 비해 승화건조법의 detachment length가 stress gradient가 없을 경우보다 많이 감소하는 것을 알 수 있다(증발법의 경우 약 $150\mu\text{m}$ 가 감소하고 승화건조법의 경우 약 $820\mu\text{m}$ 가 감소한다). 이는 승화건조법의 경우 모세관 힘에 의한 영향보다는 대부분의 detachment length가 식 (7)에서의 stress gradient에 의한 항에 의해서 결정되기 때문이라고 볼 수 있다.

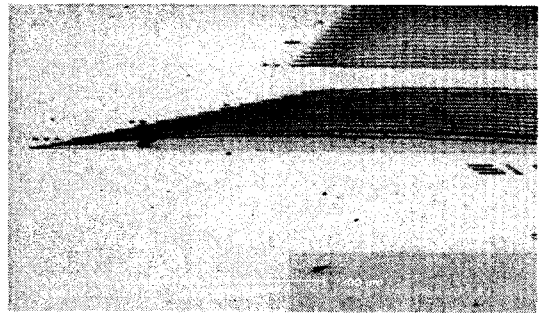


그림 8. Stress gradient에 의한 downward bending
Fig. 8 Cantilever beam bending due to downward bending stress gradient

III. 결론

지금까지 다결정실리콘 표면 미세가공 기술에서 미세구조물의 점착 방지를 위해 비교적 쉽게 사용할 수 있는 증발법과 승화건조법을 중심으로 구조물 형태, 최종 세척액의 온도, 구조물에서의 stress gradient 등에 따른 점착 방지 성능을 분석하였다.

여러 가지 점착 방지법들을 실험한 결과 증발법에서는 IPA를 사용하여 끓는점에서 액체로 치환하는 방법이 가장 높은 detachment length($200\sim 300\mu\text{m}$)를 보여주었다. 승화건조법의 실험결과에서는 약 $900\mu\text{m}$ 의 detachment length를 보여주었는데 이 경우에도 세척액을 끓는 methanol로 치환하는 경우가 가장 좋은 결과를 보여주었다. 구조물 형태에 따른 결과를 보면 증발법에서는 dimple이 있는 cantilever가 가장 긴 detachment length를 보여주었고 plate가 있는 cantilever가 가장 작은 detachment length를 보여준

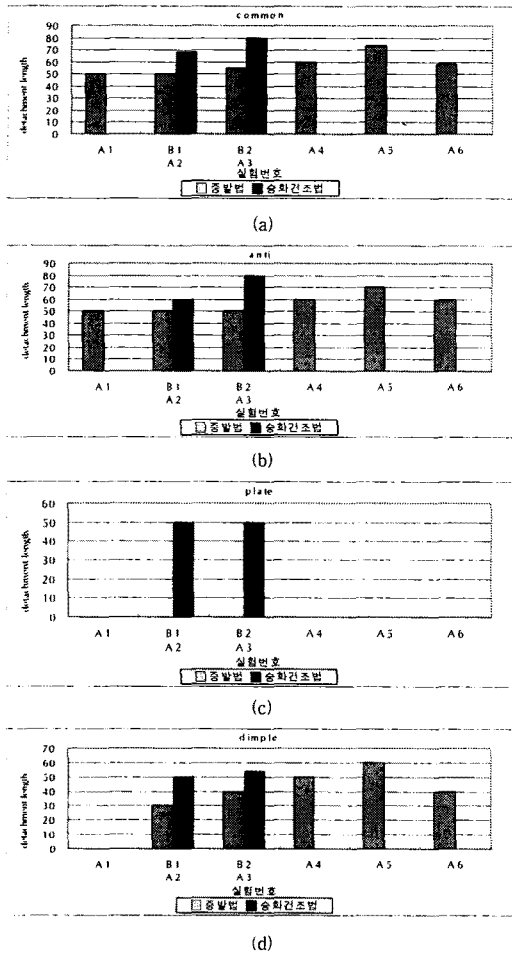


그림 9. Downward bending stress gradient(-8.7MPa/ μ m)가 존재할 때 증발법과 승화건조법 실험들의 detachment length 비교; (a) 일반 cantilever, (b) anti-stiction tip을 포함하는 cantilever, (c) plate를 포함하는 cantilever, (d) dimple을 포함하는 cantilever

Fig. 9 Comparison of evaporation and sublimation released detachment length with downward bending stress gradient(-8.7MPa/ μ m) (a) common cantilever, (b) cantilever with anti-stiction tip, (c) cantilever with plate, (d) cantilever with dimple

만면 승화건조법에서는 dimple을 사용하는 방법이 다른 구조물에 비해 오히려 작은 detachment length를 보여주었고 plate가 있는 구조물을 사용한 실험결과가 다른 구조물을 사용한 실험결과와 거의 비슷한

detachment length를 보여주었다. 그리고 cantilever에 stress gradient가 존재할 때 detachment length는 stress gradient에 의해 영향을 많이 받으므로 승화건조법을 사용했을 때 증발법보다 더 많이 감소한다는 점을 알 수 있었다.

이상의 실험결과로부터 상대적으로 plate형이 많은 미세 구조물을 제작할 경우에는 점착 방지를 위해 증발법보다는 승화건조법을 사용하는 것이 효과적이라고 볼 수 있다. 하지만 승화건조기가 준비되지 않아 부득이하게 증발법을 사용해야만 하는 경우에는 dimple 구조물을 하부에 포함시켜 점착을 방지하는 것이 바람직할 것으로 예상된다.

IV. 감사의 글

이 논문은 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구비 (과제번호 : ISRC-98-E-4206) 에 의하여 지원되었음.

참고문헌

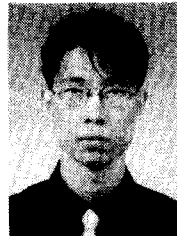
- [1] Gregory T. Mulhern, David S. Soane and Roger T. Howe, "Supercritical Carbon Dioxide Drying of Microstructures," in *Proc. Int. Conf. Solid-State Sensors and Actuators (Transducers'93)*, pp. 296-298, 1993.
- [2] M. R. Houston, R. Maboudian and R. T. Howe, "Amonium fluoride anti-stiction treatment for polysilicon microstructure," in *Proc. Int. Conf. Solid-State Sensors and Actuators (Transducers '95)*, pp. 210-213, 1995.
- [3] U. Srinivasan, M. R. Houston, R. Maboudian and R. T. Howe, "Self-Assembled Fluorocarbon Films for enhanced stiction reduction," in *Proc. Int. Conf. Solid-State Sensors and Actuators (Tranceducers'97)*, pp. 1399-1402, 1997.
- [4] Piu Francis Man, Bishnu P. Gogoi and Carlos H. Mastrangelo, "Elimination of Postrelease Adhesion in Micromaching Using Comformal Fluorocarbon Coatings," *J. MEMS*, Vol. 6, No. 1, pp. 25-34, March, 1997.

- [5] Y. Yee, M Park, and K. Chun, "A Stiction Model of Suspended Polysilicon Microstructure Including Residual Stress Gradient and Postrelease Temperature," *J. MEMS*, Vol. 7, No 3, pp. 339-344, September, 1998.
- [6] Y. Yee, K. Chun, D. Lee and C.Kim, "Polysilicon surface-modification techniques to reduce sticking of microstructures," *Sensors and Actuators*, Vol. A52, pp. 145-150, 1996.
- [7] A. W. Adamson, *Physical Chemistry of Surfaces* 4th Ed. New York: Wiley, 1982.
- [8] T. Abe, W. C. Messner, and M. L. Reed, "Effectes of elevated temperature treatment in microstructure release procedures," *J. MEMS*. Vol. 4, No. 2, pp. 66-75, 1995.
- [9] R. Legtenberg, J. Elders, and M. Elwenspoek, "Stiction of Surface micromachined structures after rinsing and drying: Model and investigation of adhesion mechanisms." in *Proc. Int. Conf. Solid-State Sensors and Actuators (Transducers'93)*, pp. 198-201, 1993.

著 者 紹 介



이 윤 재
1977년 2월 25일 생
1999년 고려대 전기공학과 졸업
(학사), 2000년 ~ 현재 동 대학원
전기공학과 석사과정 재학 중



한 승 오
1973년 6월 14일 생
1996년 고려대 전기공학과 졸업
(학사), 1998년 동 대학원 마이크
로머시닝 학과 졸업(석사), 1999년
~ 현재 동 대학원 전기공학과 박
사과정 재학 중

박 정 호

『센서학회지 제8권 제5호』 논문 99-8-5-2 p.23 참조
현재 고려대학교 전기전자전파공학부 부교수