

논문 2002-11-2-05

부착방지를 위한 새로운 표면 개질 물질

김봉환*, 전국진*, 이윤식**

A New Organic Modifiers for Anti-Stiction**Bong Hwan Kim*, Kukjin Chun*, and Yoon Sik Lee******요 약**

본 논문에서는 부착현상에서 자유로운 다결정실리콘의 표면을 만들기 위하여 새롭게 표면개질 물질로 사용한 dichlorodimethylsilane (DDMS, $(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$)에 대하여 화학적, 기계적 특성에 대해 조사하였다. 주된 전략은 기존의 octadecyltrichlorosilane (ODTS) 이나 1H,1H,2H,2H-perfluorodecyltrichlorosilane (FDTS) 같은 monoalkyltrichlorosilane (MTS, RSiCl_3) 계열의 물질을 dialkyldichlorosilane (DDS, R_2SiCl_2)와 같은 두 개의 짧은 고리를 가진 물질로 대체하는 것이다. DDMS는 짧은 두 개의 고리를 가지고 있어서 다결정실리콘 표면에 빨리 코팅된다. 3 mm까지의 긴 외팔보에 코팅을 한 경우, 희생층 제거시 부착현상 뿐만 아니라 사용중 부착현상도 방지할 수 있었다. DDMS 코팅된 다결정실리콘의 표면은 ODTS 나 FDTS 코팅된 표면보다 더 만족스러운 소수성과 지속적인 안정성과 열적 안정성을 가지고 있었다. 또한 DDMS 코팅은 더 쉽게 사용할 수 있고 장기간 용기에 저장할 수 있으며 온도의 의존성이 낮으며, 가격도 상대적으로 낮은 특징을 가지고 있다. 이 새로운 표면개질 물질을 사용하면 기존에 비해 구조물을 아이소옥탄으로 세척 후 곧바로 건조하는 간단한 공정을 가지고 있어서 공정시간을 줄일 수 있다.

Abstract

The chemical and mechanical characteristics of a new surface modifier, dichlorodimethylsilane (DDMS, $(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$), for stiction-free polysilicon surfaces are reported. The main strategy is to replace the conventional monoalkyltrichlorosilane (MTS, RSiCl_3) such as octadecyltrichlorosilane (ODTS) or 1H,1H,2H,2H-perfluorodecyltrichlorosilane (FDTS) with dialkyldichlorosilane (DDS, R_2SiCl_2) with two short chains, especially DDMS. DDMS, with shorter chains in aprotic media, rapidly deposits on the chemically oxidized polysilicon surface at room temperature and successfully prevents long cantilevers of 3 mm in length from in-use as well as release stiction. DDMS-modified polysilicon surfaces exhibit satisfactory hydrophobicity, long term stability and thermal stability, which are comparable to those of FDTS. DDMS as an alternative to FDTS and ODTS provides a few valuable advantages; ease in handling and long-term storage in solution, low temperature-dependence and low cost. In addition to the new modifier molecule, the simplified process of direct release right after washing the modified surface with isooctane was proposed to cut the processing time.

1. 서 론

최근의 마이크로머시닝 발전에도 불구하고 마이크로 구조물의 부착현상은 여전히 중요한 문제로 남아있다. 부착현상(stiction)이란 마이크로 구조물의 표면에 의도하지 않는 접착(adhesion)이 일어나서 회복하려는 힘이 모세관(capillary), van der Waals, 정전력(electrostatic attraction)과 같은 표면에 작용하는 힘(interfacial

* 서울대학교 전기공학부(School of Electrical Engineering, Seoul National University)

** 서울대학교 응용화학부(School of Chemical Engineering, Seoul National University)

<접수일자 : 2001년 12월 17일>

force)을 극복하지 못하여 영구적으로 붙어 있는 현상을 말한다. 이러한 부착현상은 크게 release stiction(회생층 제거시 부착현상)과 in-use stiction(사용중 부착현상)으로 분류된다. 우선, release stiction은 구조물의 release 공정 중 에서 구조물이 바다에 붙어서 떨어지지 않는 접착(adhesion)으로 주로 액체 모세관 힘(liquid capillary force)에 의해서 일어난다. 현재 이 현상은 승화 건조법(sublimation release), 초임계 건조법(supercritical drying), 불산 기상 건조법(HF vapor release)등의 방법들로 액체 기상 계면(liquid-vapor interface)을 피하는 기술로 해결 할 수 있다. 그 외에도 마이크로 구조물 주변에 작은 돌출물을 만들어서 액체 형상(liquid meniscus)을 변화시켜 모세관 힘을 줄이는 방법도 있다.⁽¹⁻⁴⁾ 하지만 이러한 방법들도 미세 구조물이 동작중 습도나 과도한 충격 등으로 복원되지 않는 부착이 발생하는 것을 해결할 수는 없다. 그 이유는 근접한 마이크로 구조물 표면이 서로 접촉할 때 모세관, 정전, 반데르 발스 등의 힘이 발생하며 이 힘에 의해 표면부착(surface adhesion)이 일어나고, 그 결과 소자 손상을 초래하게 되어 결국 구조물의 부착현상이 발생하기 때문이다. 이런 사용중 부착현상을 줄이기 위해서 마이크로 딤플(dimple)을 형성하여 표면 접촉면적을 줄이는 방법과 마이크로미터 수준(microscopic level)으로 다결정 실리콘 표면을 거칠게 하는 방법이 연구되었다⁽³⁾. 최근에는 구조물 표면에 chemical passivation을 이용한 방법이 발표되었는데, hydrogen passivation⁽⁵⁾, hydrogen-bonded fluorinated monolayers⁽⁶⁾, plasma-deposited fluorocarbon thin films⁽⁷⁾, covalently-bound hydrocarbon self-assembled monolayer (SAM) 등이 있다. 이 중 대표적인 방식이 자기 집합 단층막(SAM) 방식이다^(8,9). 이 방식은 ODTS 나 FDTS 같은 MTS 계열의 물질을 구조물의 표면에 코팅하는 방법이다. 특히 ODTS를 코팅한 표면은 코팅하지 않은 표면에 비해 회생층 제거시 부착현상과 사용중 부착현상을 현저히 줄일 수 있다고 보고되었다⁽⁹⁾. 또한 FDTS는 다결정 실리콘에 코팅시 부착현상 뿐만 아니라 열적 안정성도 개선되었다고 보고되었다⁽¹⁰⁾. 그러나 MTS는 극도로 습기에 민감하여 쉽게 뭉쳐져서 여러 번 사

용할 수 없고 처리방법이 복잡하고 공정비용이 많이 들며 온도에 대한 의존성이 강한 단점이 있다. 따라서 이런 단점을 개선하기 위하여 최근에는 DDMS를 이용한 코팅으로 부착현상을 현저히 줄이는 방법이 보고되었다^(11,12). 본 논문에서는 이런 부착현상을 모델링하였으며 chemical passivation의 한 방법 중 저렴한 비용과 온도의 의존성이 작은 동시에 공정방법이 간단한 DDS 계열을 이용한 코팅방법을 제시하였고 이의 특성을 비교하였다.

2. 부착방지 현상을 관찰하기 위한 외팔보 제작과 DDMS 코팅

2.1 부착현상과 chemical passivation

일반적으로 MEMS(micro electro mechanical systems) 공정중 마지막 단계는 불산이나 기타 습식식각용액을 이용하여 회생층을 제거하는 공정으로 끝난다. 그런데 습식식각용액으로 회생층을 제거하고 rinse 용액으로 세척후 건조시키는 과정에서 구조물의 표면 부착 현상이 발생한다. 보통 구조물은 다결정실리콘으로 제작하기 때문에 한번 부착이 되면 강한 수소결합을 이루게 되어 탈착시키기는 매우 힘들게 된다. 이런 부착현상이 일어나는 요인은 rinse 용액의 표면장력(=표면에너지) 때문이다. 표면장력을 설명하는 영의 방정식(Young's equation)은 식 (1)과 같다.

$$\gamma_{SA} = \gamma_{SL} + \gamma_{LA} \cos \theta_c, 0 < \theta_c < \pi \quad (1)$$

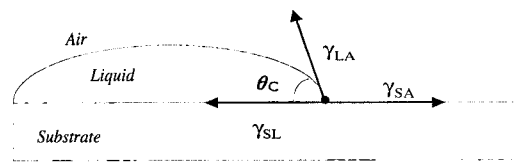


그림 1. 표면장력의 평형에 의해 형성되는 접촉각. (θ_c)

Fig. 1. Contact angle of equilibrium surface tension.

여기서 γ_{SA} 는 접합면과 공기와의 표면장력, γ_{SL} 는 접합면과 용액과의 표면장력이며, γ_{LA} 는 용액과 공기와의 표면장력이다. 그림 1에서와 같이 접합면과 용액의 접촉각(contact angle, θ

c)은 γ_{SA} 과 γ_{SL} 과 γ_{LA} 이 균형을 이루므로써 결정된다. 용액이 물인 경우 θ_C 가 90° 보다 큰 경우 표면은 소수성이라 말하며, 90° 보다 작은 경우 표면은 친수성이라 한다. 보통 MEMS공정에서 희생층을 제거하고 난 후의 표면은 θ_C 가 90° 보다 작게 된다. 즉 표면은 친수성이 되며 모세관 힘은 구조물과 바닥이 서로 당기는 힘을 발생하게 되어 표면부착 현상이 발생하는 것이다. 부착 현상은 Y. Yee 등이 보인 모델에서와 같이 모델링 할 수 있다^[13]. 이러한 부착현상을 방지하기 위해 표면을 소수성으로 개질하는 방법이 chemical passivation이다. Chemical passivation에는 앞에서 언급한 여러 방법들이 있지만 여기서는 MTS를 이용한 SAM 방식과 DDS를 이용한 코팅방법에 대하여 논하기로 한다. SAM은 ODTS와 FDTS를 이용하여 다결정실리콘의 표면을 소수화 처리하는 방식이다. 하지만 ODTS나 이 보다 성능이 개선된 FDTS가 표면에 도입되는 과정은 실리콘 표면의 silanol (Si-OH)기와 반응하여 화학결합을 이루는 것이므로 물리적인 작용에 의해 형성되는 SAM 모형으로 이를 설명하는 것은 다소 과장이 있고, FDTS는 긴 탄소 사슬을 골격으로 가지고 있어서 실제로는 탄소간의 자유회전에 의해서 일정한 배향성을 가지기 어려우며 자기들끼리의 작용력으로 영기는 현상도 일어나게 된다. 따라서 복잡한 구조를 이루고 있는 표면에 일정하게 도입하기가 어렵다. 그리고, FDTS는 반응성이 매우 커서 공정에서 다루기가 어려운 단점이 있다. 이에 반해 DDMS는 그 크기가 작아서 복잡한 구조의 구석구석까지 접촉이 가능하여 코팅이 균일하게 이루어지며, ODTS와 FDTS의 긴 탄소 사슬을 대신하여 두 개의 메틸(methyl)기가 충분한 소수성을 보여준다.

2.2 다결정 실리콘 외팔보 제작

일반적으로 부착방지현상을 보기 위해서 가장 간단히 제작할 수 있는 구조는 외팔보(cantilever)이다. 빔의 두께는 $2\ \mu\text{m}$, 폭은 $5 \sim 40\ \mu\text{m}$ 이며 길이는 $10\ \mu\text{m}$ 부터 $10\ \mu\text{m}$ 씩 증가하여 $3000\ \mu\text{m}$ 까지 설계하였다. 부착현상은 박막의 잔류응력 기울기에 영향을 많이 받기 때문에 이를 줄이기 위해 희생층을 12wt.% phosphosilicate glass(PSG)막을 선택하였다. 먼저 P-type, (100), 비저항 10-20 ohm-cm의 4인치 벌크

실리콘을 황산:과산화수소=4:1에 10분간, 10:1 불산으로 세척 및 세정한 다음 $0.25\ \mu\text{m}$ 의 저압 화학기상증착(LPCVD) 질화막을 785°C 에서 증착하였고, 그 위에 $0.35\ \mu\text{m}$ 의 바닥전극인 다결정실리콘을 625°C 에서 증착하였다. 그 위에 희생층으로 사용될 $2\ \mu\text{m}$ 의 PSG를 증착하였고, $2\ \mu\text{m}$ 의 다결정 실리콘을 그 위에 증착하였다. 이 구조물 다결정실리콘은 MEMS 공정에서 필수적인 구조물의 잔류 응력 조절을 비교적 쉽게 할 수 있는 온도 영역에 해당하는 585°C 증착 조건을 선택하였다. 잔류응력 및 잔류 응력 기울기를 줄이기 위해서 furnace에서 표 1과 같이 열처리 조건을 수행하고 사진식각 공정을 통해 외팔보를 패터닝한 후에 $2\ \mu\text{m}$ 의 다결정 실리콘을 식각하였다. 제작된 외팔보의 잔류응력 기울기는 Keyence VF laser profiler로 측정된 결과 최대 $2\ \text{Mpa}/\mu\text{m}$ 였다.

표 1. 외팔보의 공정조건.

Table 1. Cantilever beams fabrication condition.

Polysilicon (LPCVD)	Ground electrode	300 mTorr	@ 625°C
	Structure	60 sccm(SiH ₄)	@ 585°C
PSG (APCVD)	Sacrificial layer	12 wt. %	
Doping and Annealing (Furnace)	Polysilicon	Pre-deposition : 30min Drive-in : 240min POCl ₃ @ 950°C	

2.3 DDS 코팅

DDS의 같은 계열인 DDMS, dichlorodimethylsilane(DDMS, (C₂H₅)₂SiCl₂), dichlorodipropylsilane(DDPS, (C₃H₇)₂SiCl₂) (Lancaster Synthesis Ltd., 99% purity) 코팅을 정리하면 아래 그림 2와 같다. 첫 번째는 구조물의 희생층을 제거하기 위해 49% 불산을 이용해서 습식식각을 하였다. 두 번째로 조심스럽게 초순수에 2분간 5번씩 담근 후 흐르는 초순수로 씻어냈다. 여기서 구조물인 다결정 실리콘의 표면에 있던 불순물과 산화막이 제거된다. 세 번째는 다결정 실리콘의 표면을 친수화시켜주기 위해서 실내온도에서 과산화수소에 15분간 넣어 두었다. 이때 표면에 많은 OH-group들이 형성된다. 표면을 친수화시키는 이유는 DDS의 head group이 공유결합을 통해 표면에 부동화(im-

mobilization) 되도록 하기 위해서이다. 네 번째는 물과 유기용매에 상호 반응을 할 수 있는 이소프로필알콜을 사용하였다. 이소프로필알콜은 깨끗한 용기에 30초간 흘려주어서 씻고 다시 1분 동안 용액에 담아 두었다. 다섯 번째는 구조물에 남아 있는 물분자를 완전히 제거하기 위해서 아이소옥탄(Aldrich Chemical Co., 99% purity)도 네 번째와 같은 순서로 진행하였다. 여섯 번째로 가장 중요한 DDS 코팅을 질소 분위기의 글로브 박스안에서 15분 동안 코팅하였다.

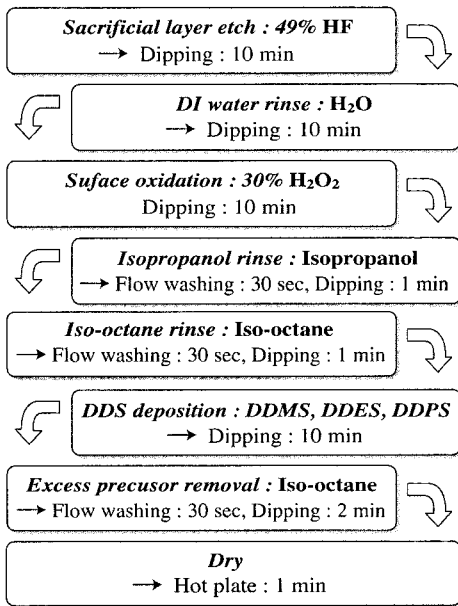


그림 2. DDS 코팅 순서도. DDMS, DDES, DDPS 모두 같은 방법으로 코팅함. 총 코팅시간은 46.5분이며 이는 FDTS 코팅시간의 반에 해당한다. DDMS의 가격은 100g에 10.5불로 1g에 20불인 FDTS보다 훨씬 싸다.

Fig. 2. A block diagram of the DDS coating process. DDMS, DDES and DDPS are coated in the same way. Whole process time is about 46.5 minutes, which is about half of that of FDTS[10]. The price of DDMS is much cheaper than that of FDTS.(DDMS : \$10.5 at 100g , FDTS : \$20 at 1g from Lancaster Synthesis Ltd., UK Catalog 98/99)

이때, DDS는 각각 1mM을 사용하였고 코팅 시간은 시편의 크기에 따라 줄일 수 있다. 마지막으로 코팅이 다 된 구조물을 아이소옥탄에 씻

어주었다. 이것은 다섯 번째 과정과 동일한 방법으로 행하였다. DDS 코팅이 끝난 시편을 hot plate에서 1분간 건조시켰다.

3. 결과 및 토의

3.1 다결정 실리콘의 표면 거칠기

DDS 코팅이 잘 되었는지를 확인하기 위하여 우선 코팅하기 전과 코팅 한 후의 다결정 실리콘의 표면을 Atomic Force Microscopy(AFM)를 이용하여 측정하였다. 이상적인 단층막이 형성되었을 경우 그 두께는 수 Å 정도에 불과하므로 DDS가 표면에 부반응을 통해 덩어리(conglomeration)를 이루어 침전되지 않고 단층막이 형성되었다면, AFM 분해능으로는 표면 위의 변화를 거의 구별할 수 없다. 실험적으로도 그림 3에서 보는 바와 같이 DDMS의 경우에는 부반응으로 인한 뭉쳐짐이 적어서 한달이 지난 후에도 다시 사용할 수 있지만 FDTS의 경우는 덩어리가 생겨서 다시 사용할 수 없음을 확인하였다.

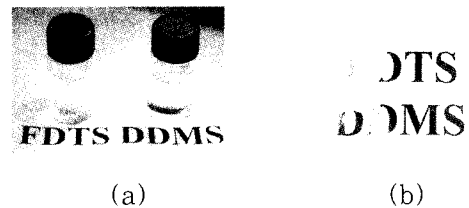


그림 3. DDMS와 FDTS의 혼탁도. (a)와 (b)는 디지털 카메라로 찍은 이미지.

Fig. 3. Degradation of two materials. Front view(a) and top view(b). (a) and (b) were taken photograph by digital camera after one month in 0. 1 M isooctane solution in N₂ filled drybox.

그림 4와 표 2, 3은 MTS와 DDS 물질을 코팅한 전후의 시편 표면 rms 거칠기를 나타내고 있다. DDMS, DDES, DDPS의 경우 표면의 거칠기 변화가 수 Å 정도에 그치고 있음을 보여준다. 또한 단층막의 존재는 X-ray Photoelectron Spectroscopy(XPS)를 이용해서 확인할 수 있었다. AFM과 XPS의 분석 결과는 3가지의 DDS 계열의 화학물질들이 MTS 계열의 화학물질보다 간단한 화학처리방법으로 실리콘 표면에서 쉽게 단층막을 얻을 수 있음을 보여준

다. 이 단층막은 소수성을 띠고 두께가 수~수십 Å 정도이기 때문에 구조물에 기계적, 전기적 변화를 주지 않으므로 쉽게 부착 현상을 방지할 수 있다. 하지만 구조물이 움직일 때 양면에 형성된 DDS 단층막에 정전기가 발생하여 오히려 부착현상을 일으키는 작용을 할 수도 있다. 현재로서는 정전기가 부착현상에 미치는 영향을 확인할 수는 없다.

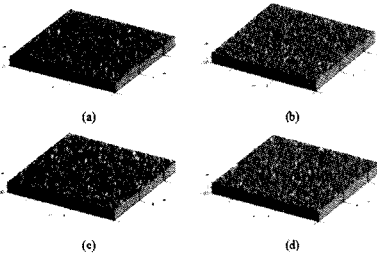


그림 4. 10x10 μm의 바닥전극 다결정실리콘의 표면 AFM 이미지. (a)H₂O, (b)DDMS, (c)DDES, (d)DDPS로 코팅되어 있으면 rms거칠기는 각각 59 Å, 57 Å, 57 Å, 그리고 57 Å이다.

Fig. 4. AFM 10x10 μm scanning images of ground polysilicon surfaces that were washed with only H₂O(a), coated with DDMS(b), coated with DDES(c) and coated with DDPS(d). The rms roughness is 59 Å, 57 Å, 57 Å, and 57 Å, respectively.

표 2. FDTS, ODTs, 그리고 DDMS에 대한 AFM 결과.

Table 2. AFM data of rms roughness for FDTS, ODTs, and DDMS.

	Bare Si	Structure Poly-Si
No coating	2.74 Å	125 Å
FDTS	1.64 Å	168 Å
ODTS	3.38 Å	118 Å
DDMS	1.94 Å	136 Å

표 3. DDS에 대한 AFM 결과.

Table 3. AFM data of rms roughness for DDS.

	Bare Si	Ground Poly-Si
No coating	2.74 Å	59 Å
DDMS	1.94 Å	57 Å
DDES	1.81 Å	57 Å
DDPS	1.75 Å	57 Å

3.2 희생층 제거시 부착 현상

희생층 제거시 부착현상을 보기 위해 물의 접촉각을 측정하였다. 수울면에서 5 μm와 40 μm의 폭을 가진 외팔보는 길이가 1000 μm까지 100% 부착현상이 방지되었고 나머지 10 μm와 20 μm의 폭을 가진 외팔보는 98% 정도의 부착방지 효과를 가지고 있음을 전자현미경으로 확인할 수 있었다.

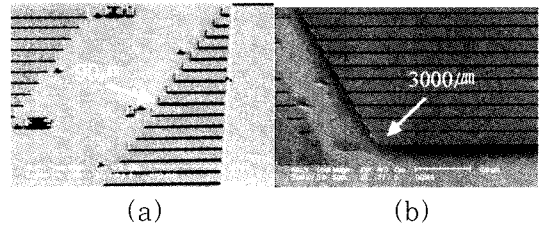


그림 5. DDMS 코팅된 결과 (a)물로 세척, (b) DDMS 코팅, 외팔보 길이는 10~3000 μm 까지이며 10 μm씩 증가한다.

Fig. 5. Effect of chemical modification with DDMS SEM images of cantilevers washed with only H₂O(a) and DDMS-coated cantilevers(b) with 10 μm increments in length up to 3 mm.

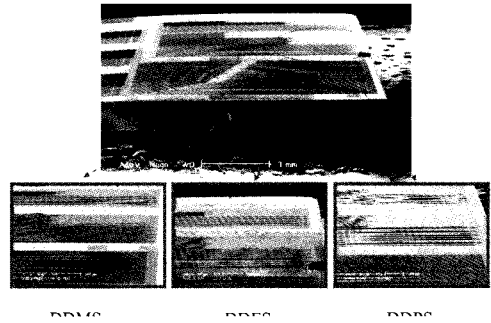


그림 6. DDMS, DDES, DDPS로 코팅된 다결정실리콘 외팔보의 SEM 사진.

Fig. 6. SEM images of DDMS, DDES and DDPS coated polysilicon cantilever beams that are 2 μm thick, 2 μm above the substrate, 40 μm in width, ranging from 0.01 to 3 mm in length emerge.

또한 3000 μm의 긴 외팔보에 대해 실험한 결과 그림 5에서 보는 바와 같이 코팅을 하지 않은 경우에 90 μm 에서 부착현상이 일어나는 것이 코팅을 한 후에는 3000 μm 까지 균일하게 부착방지가 일어남을 관찰할 수 있었다. 따라서 1500 μm의 길이까지는 외팔보의 폭과는 무관하게 부

착방지가 잘 일어나지만, 이 후 3000 μm 까지는 폭에 따라 어느 정도 차이가 있음을 알 수 있다. 그림 6에서 보는 것과 같이 DDMS, DDES, DDPS를 각각 동일한 종류의 시편에 코팅하였을 때 DDMS가 코팅된 시편의 부착현상은 폭에 따라 크게 변화가 없었으나 DDES, DDPS의 경우에는 40 μm 폭을 제외하고는 부착현상이 발생했다. 또한, 길이면에서도 DDMS의 경우 모든 시편에서 90%이상의 높은 수율을 보인 반면에 DDES와 DDPS가 코팅된 시편은 80% 정도의 수율을 보였다. 이는 DDMS가 DDES와 DDPS 보다도 실리콘 표면과 더 좋은 결합력을 가지기 때문이라 볼 수 있다. 따라서 외팔보의 폭과 길이의 변화로 본 부착현상 방지도 그 특성이 DDMS가 가장 좋음을 알 수 있다.

3.3 열적 안정성과 응용

물의 접촉각을 통해 5분 동안 hot plate에서 450 $^{\circ}\text{C}$ 까지 온도를 올려서 열적 안정성을 측정할 수 있었다. 그림 7에서 보이는 열적 안정성은 FDTS, ODTS, DDMS, DDES, DDPS 순이다. 일반적으로 FDTS와 같이 C-F 결합으로 이루어진 Teflon 계열의 화합물은 산화나 환원 반응에 안정한 내화특성과 열에 안정한 내열성을 보이는 안정한 구조를 갖는다. 이에 반해 ODTS의 경우에는 열을 가하면 공기 중에 산소와 반응하여 쉽게 산화되면서 분해되기 때문에 열에 대한 안정성이 급격히 떨어지는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 골격을 이루는 C-C 결합의 결합 에너지에서 차이가 나기 때문인데, FDTS의 C-C 결합은 주위의 불소의 영향으로 ODTS의 C-C 결합보다 강하다.

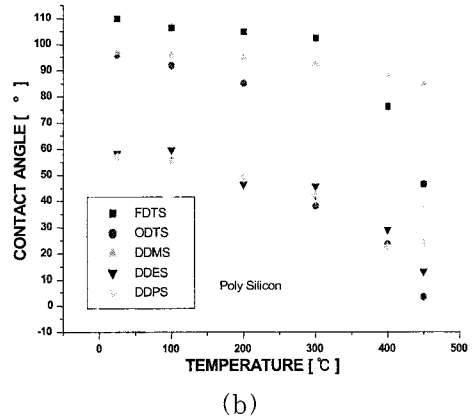
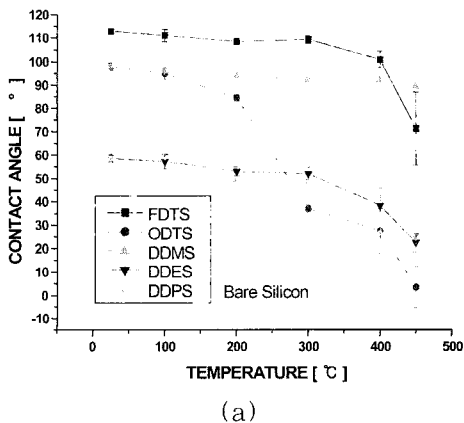


그림 7. 물의 접촉각을 통한 열적 안정성. (a)실리콘, (b)다결성실리콘. ODTS와 FDTS는 문헌에 의한 방법으로 코팅되었다.

Fig. 7. Thermal stability indicated by contact angles of water on DDMS-coated surfaces.

(a)silicon, (b)polysilicon. Coating of the surfaces in N_2 filled drybox was followed by contact angle in ambient air. FDTS and ODTS are coated according to the method in the literature^[10].

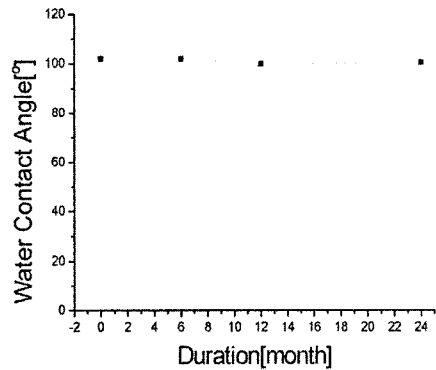


그림 8. 2년동안 관찰된 물의 접촉각을 통한 지속성. Fig. 8. Durability monitored for 2 year in terms of contact angle at room temperature and in ambient air.

DDMS의 경우에는 탄소가 하나로 구성되어 있기 때문에 열을 가해도 쉽게 산소와 반응하지 않는다. 따라서 FDTS와 같이 높은 온도에서도 열적 안정성을 보이는 것이다. 실제로 DDMS를 구조물에 응용해본 결과 2 μm 의 회생층이 제거된 후 완전히 떠 있음을 알 수 있다^[14]. 그림 8은 DDMS 코팅의 수명을 확인하기 위해서 24개월 동안의 변화를 물의 접촉각을 통해 소수성

의 변화를 관찰한 결과로서 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 마이크로 구조물의 부착방지를 위하여 새로운 화학적 표면개질 방법을 제시하였다. 보통 부착방지 현상을 측정하기 위해 사용하는 외팔보를 3 mm까지 제작하여 부착현상을 방지하였으며 온도와 지속성에 대해 측정하였고 이를 구조물에 응용을 하였다. 따라서 새로 제안된 방식은 온도에 대한 영향이 거의 없고 덩어리가 지는 현상이 없으며, 또한 시약의 수명이 길어진다. 가격이 저렴하고 공정시간이 줄어드는 이점을 가지고 있어서 마이크로 구조물의 부착방지에 널리 이용될 수 있다. DDS는 처음에 예측한 것과 같이 MTS 보다 안정적으로 코팅할 수 있으며 사용하기 편리한 방법임을 확인 하였다.

감사의 글

이 연구는 산업자원부 차세대무선통신용트랜시버시스템개발사업(CATS)의 일부 지원(ISRC 2001-X-6140)과 두뇌한국 21(BK 21)의 일부 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] R. Maboudian and R. T. Howe, "Critical Review: Adhesion in surface micromechanical structures", *J. Vac. Sci. Technol.* 1997, B 15, pp. 1-3
- [2] Gregory T. Mulhern, David S. Soane, and Roger T. Howe, "Super-critical Carbon Dioxide Drying of Microstructures", *The 7th International Conference on Solid-state Sensors and Actuators*, pp. 296-298.
- [3] Y. Yee, K. Chun, D. Lee, and C. Kim, "Polysilicon surface-modification technique to reduce sticking of microstructures", *Sensors and Actuators*, Vol. A-52, pp. 145-150, 1996.
- [4] Y.-I. Lee, K.-H. Park, J. Lee, C.-S. Lee, H.-J. Yoo, C.J Kim, and Y.-S. Yoon, Dry Release for Surface Micromachining with HF Vapor-Phase Etching, *J. MEMS*, vol. 6, No. 3, September 1997, pp. 226-233
- [5] M. R. Houston and R. Maboudian, Stability of ammonium fluoride-treated Si(100), *J. Appl. Phys.*, vol. 78, no. 6, pp. 3801-3808, 1995.
- [6] R. M. Wallace *et al.*, Adsorption of perfluorinated n-alkanoic acids on native aluminum oxide surface, *J. Vac. Sci. Technol. A*, vol. 13, no. 3, pp. 1345-1350, 1995.
- [7] Piu Francis Man, Bishnu P. Gogoi, and Carlos H. Mastrangelo, Elimination of Post-Release Adhesion in Microstructures Using Conformal Fluorocarbon Coatings, *J. MEMS*, vol. 6, No. 1, March 1997, pp. 25-34
- [8] M. R. Houston, R. Maboudian, and R. T. Howe, Self-assembled monolayer films as durable antistiction coatings for polysilicon microstructures, in *Proc. IEEE Solid-State Sensors and Actuators Workshop(Transducers96)*, Hilton Head, SC, 1996, p. 4247.
- [9] P. Cléchet, C. Martelet, M. Belin, and H. Zarrad, Lubrication of silicon micromechanisms by chemical grafting of long-chain molecules, *Sens.Actuators A*, vol. 44, no. 1, p. 7781, 1994.
- [10] U. Srinivasan *et al.*, Alkyltrichlorosilane-based self-assembled monolayer films for stiction reduction in silicon micromachines, *J. Microelectromech. Syst.*, vol. 7, no. 2, pp. 252-

260, June 1998.

- [11] B.-H. Kim, C.-H. Oh, K. Chun, T.-D. Chung, J.-W. Byun, and Y.-S. Lee, A new class of surface modifiers for stiction reduction, in *Proc. 12th IEEE Int. Conf. Micro Electro Mechanical Systems(MEMS99)*, Orlando, Florida, Jan. 1999, pp. 189-193.
- [12] C.-H. Oh, B.-H. Kim, K. Chun, T.-D. Chung, J.-W. Byun, Y.-S. Lee, and Y.-S. Oh, A New Class of Surface Modification for Stiction Reduction, in *Proc. 10th Int. Conf. Solid-State Sensors and Actuators (Transducers99)*, Sendai, Japan, June 1999, p. 3033.
- [13] Y. Yee, M. Park, and K. Chun, A Stiction Model of Suspended Polysilicon Microstructure Including Residual Stress Gradient and Post-release Temperature, *J. MEMS*, vol.7, no.3, September 1998, pp. 339-344
- [14] B.-L. Lee, C.-H. Oh, Y.-S. Oh, and K.-J. Chun, A Novel Resonant Accelerometer: Variable Electrostatic Stiffness Type, in *10th Int. Conf. Solid-State Sensors and Actuators (Transducers99)*, Sendai, Japan, June 1999, pp. 1546-1549.

著 者 紹 介



김 봉 환

1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학사
 1999년 2월 : 서울대학교 전기공학부 공학석사
 1999년 3월 ~ 현재 : 서울대학교 전기공학부 박사과정

주관심 분야 : Anti-stiction, Hard Disk Drive용 second actuator, Silicon direct bonding, MEMS sensor, MEMS Probe card



전 국 진

1977년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학사
 1981년 8월 : University of Michigan 공학석사
 1986년 5월 : University of Michigan 공학박사

1986 ~ 1989 : 워싱턴 주립대 조교수
 1989 ~ 1994 : 서울대학교 전자공학과 조교수
 1994 ~ 현재 : 서울대학교 전기공학부 부교수, 교수
 1997 ~ 현재 : 서울대학교 마이크로시스템기술센터 센터장
 (사) 한국센서학회 이사
 공업기반기술사업 기획평가단 위원
 Journal of Micromechanics and Micro-engineering Associate Editor
 2000 ~ 현재 : 차세대신기술개발사업단 총괄사업단장
 주관심 분야 : Sensor, E-beam lithography, RFMEMS, BioMEMS



이 윤 식

1974년 2월 : 서울대학교 공
학사

1976년 7월 : 서울대학원 공
학석사

1981년 10월 : Rutgers
University 공학박사

1982 ~ 1987 : 서울대학교 공업화학과 조교수

1987 ~ 1993 : 서울대학교 공업화학부 부교수

1991 ~ 1992 : University of Arizona 화
학과 방문교수

1993 ~ 현재 : 서울대학교 응용화학부 교수

주관심 분야 : Solid-Phase Synthesis of
Peptide/ Chemical Library, Synthesis
of New Polymer Supports for Peptide/
Chemical Library, Modification of Poly-
mer Surface by Chemical Methods,
Clean Organic Reactions