

논문 99-8-5-2

RIE 식각시 발생하는 비등방도 변화에 따른 머리빗형 액츄에이터의 동작 특성 분석

김 봉 수, 박 호 준, 박 정 호

Operation Characteristic Analysis of a Comb Actuator due to a Anisotropy Variation in RIE Etching

Bong-Soo Kim, Hojun Park, Jungho Pak

요약

본 논문에서는 머리빗형 액츄에이터의 제작 공정 중에서 RIE 식각 공정시 발생하는 식각의 비등방도의 변화에 의해서 머리빗형 액츄에이터의 스프링 상수, 공진 주파수, 정전 구동력 그리고 진동자 변위 등에서 발생하는 동작 특성이 설계값으로부터 변화되는 것을 예측하였다. 이를 위해 $6\mu\text{m}$ 두께의 폴리실리콘에 대한 RIE 식각 실험을 수행하여 RF power, Cl_2 유량 그리고 챔버내 압력에 따른 비등방도를 측정하였다. 실험 결과에서 RF power, Cl_2 유량, 그리고 챔버내 압력이 증가할수록 비등방도는 감소하였다. 이러한 비등방도 감소에 따른 머리빗형 구조물의 동작 특성을 세 가지 다른 지지빔의 경우에 대해 예측하였는데 그 세 가지는 fixed-fixed, crab-leg, 그리고 double crab-leg 구조이다. 비등방도가 감소함에 따라 즉, 지지빔의 단면이 직사각형이 아니고 사다리꼴이 되면서, 머리빗형 액츄에이터의 스프링 상수, 공진 주파수, 그리고 정전 구동력은 감소하였지만 질량체의 변위는 증가하였다. 그리고 세 가지 구조물 중에서 double crab-leg 지지빔을 갖는 머리빗형 액츄에이터의 특성이 비등방도에 의해 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

Abstract

This paper predicts the changes in the spring constant, the resonant frequency, the electrostatic force, and the displacement of a resonant structure due to non-ideal anisotropic RIE etching process. First, a $6\mu\text{m}$ thick polysilicon was etched by RIE and the anisotropy of the etched structure was measured as a function of a RF power, a Cl_2 flow rate and a chamber pressure. In the experimental results, an anisotropy was decreased as the RF power, the Cl_2 flow rate, or the chamber pressure was increased. A comb actuator's operation characteristic was predicted depending on the anisotropy variations in RIE etching. Comb actuators with three different support beam structures were investigated : fixed-fixed, crab-leg, and double crab-leg. As the RIE etch anisotropy becomes non-ideal, i.e. the cross section becomes rather a trapezoidal than a rectangular shape, it decreases spring constant, resonant frequency and electrostatic force of a comb actuator but it increases the displacement of the mass. Among the three structures, the comb actuator with double crab-leg support beams is more influenced by anisotropy variation in RIE etch than other two.

1. 서론

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

<접수일자 : 1999년 6월 26일>

최근 개발되는 고성능 반도체 센서에서는, 종래의 정
적·수동적 감지방식의 센서에 액츄에이터를 첨가하여

동적·능동적 감지방식으로 전환함으로써 감지기능의 정확성 및 신뢰성 향상을 꾀하고 있으며, MEMS (micro electro mechanical systems)의 동작방식 또한 종전의 개회로 방식에서 서보기능을 갖는 폐회로 방식으로 발전함에 따라 미소 액츄에이터의 중요성이 날로 증대되고 있다.

미소 액츄에이터 중에서 머리빗형 액츄에이터는 주위의 물리량 또는 화학량(예를 들어 주위의 기압 상태, 또는 인가 전압)의 변화에 따라 자체 공진 주파수가 매우 민감하게 변하는 정전 액츄에이터(electrostatic actuator)의 한 형태이다. 머리빗형 액츄에이터 구동에는 정전력을 이용하기 때문에 다른 구동방식에 비해 액츄에이터 구조가 간단하고, 제조 공정이 단순하며, 구동특성이 주위 온도변화에 둔감하다는 장점으로 인해 각종 공진형 센서에 널리 이용되어 왔다. 이러한 공진형 센서에 이용되는 구조물들은 좁고 길면서 비등방도가 높은 수직 구조물들로서 대부분 폴리실리콘으로 제작된다. 폴리실리콘으로 구조물을 제작하는 경우 사진식각공정에서 식각 마스크를 패터닝하고 RIE 식각으로 원하는 형태의 구조물을 형성하는데 이때 구조물은 높은 비등방도를 유지한다. 그러나 높은 비등방도를 나타내는 RIE 식각에서도 패터닝 형성시 구조물의 비등방도가 공정조건에 따라 변하게 된다. 머리빗 구조물의 비등방도가 변하면 질량이 변하고 단면의 형상이 변하여서 스프링 상수, 공진주파수, 정전 구동력 및 변위가 변하고 결국 설계에서의 예상과 다른 머리빗형 액츄에이터의 동작 특성을 얻게 된다. 폴리실리콘 구조물을 RIE 식각할 때 발생하는 비등방도에 대한 연구는 기존에 있었는데, 그 연구에 의하면 챔버내 압력을 100 ~ 250 mTorr 사이에서 50 mTorr간격으로 변화시켰을 때 2 μ m 두께의 구조물에서 비등방도가 챔버내 압력 증가에 따라 감소하였으며 비등방도에 따른 구조물의 단면 형태가 변화하였기 때문에 결국 공진 주파수가 변화하는 결과를 보여주었다^[1].

본 논문에서는 RIE 식각에 의해서 발생하는 이러한 구조물의 비등방도 변화를 RF power, 챔버내 압력 그리고 Cl₂ 유량을 변화시키면서 RIE 식각 실험을 수행하여 제시하였다. 그리고 실험 결과로부터 얻어진 단면의 비등방도 변화를 토대로 머리빗형 액츄에이터의 스프링 상수, 공진 주파수, 정전 구동력 그리고 진동자 변위 변화를 예측하였다.

II. RIE 식각 실험

RIE 식각은 플라즈마를 이용하는 식각이므로 플라즈마 식각에 영향을 주는 변수인 RF power, Cl₂ 유량 그리고 챔버내 압력을 변화시키면서 식각 실험을 실시하였다.

1. RIE 식각 공정 변수 및 실험 방법

RIE 식각시 RF power, 챔버내 압력, 그리고 Cl₂ 유량의 공정변수에 따라 패터닝되는 구조물의 비등방도가 결정된다. 이러한 세 가지 공정변수에 대해 표 1의 실험조건에 따라 식각 실험을 수행하였다.

표 1. 식각 실험에 사용된 공정변수와 식각 조건
Table 1. Process parameters and etching conditions

Process parameter	Experimental condition
RF power [W]	300, 350, 400
Chamber pressure[mTorr]	100, 150, 200
Cl ₂ flow rate[scm]	58, 70, 80

표 1의 식각 조건은 반도체 공동연구소에서 사용되는 표준 공정조건인 챔버내 압력 200 mTorr, RF power 300 W, Cl₂ 유량 58 sccm, 그리고 He 유량 100 sccm을 기준으로 설정하였다. 그리고 식각 실험시 사용되는 실험 장비는 그림 1의 CCP(capacitively coupled plasma, 제조업체: Drytek, 모델명: DRIE-284) RIE 장비를 사용하였다.

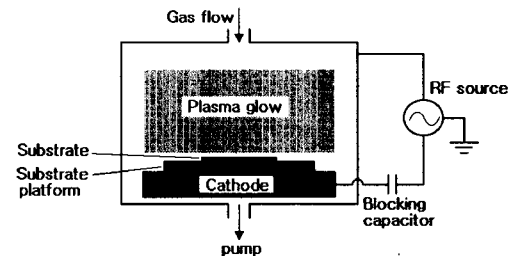


그림 1. RIE 식각 실험에 사용된 CCP RIE 장비의 개략도

Fig. 1. Schematic diagram of the CCP RIE etcher used in RIE etching experiment

그림 1의 장비에서 운반가스로 He를 사용하고 반응성 가스로 Cl₂를 사용하여 식각 실험을 수행하였다. 증착된 폴리실리콘만을 식각하기 위해 표준화된 기존 공정조건(RF power : 350 W, 챔버내 압력 : 9 Torr, 온도 : 390 °C, TEOS : 220 sccm, O₂ : 220 sccm, 증착률 : 120 Å/sec, DRIE-284에서 폴리실리콘과 산화막의 선택비는 12:1)을 사용하여 PECVD 장비로 실리콘 기판위에 TEOS를 1 μm 증착시킨 후, LPCVD 장비를 이용하여 폴리실리콘을 585 °C에서 6 μm 두께로 증착하였다. MEMS MPC인 경우 폴리실리콘이 2 μm 두께로 증착되거나 본 실험에서는 폴리실리콘을 6 μm로 증착하여 RIE 식각 실험을 수행하였다. 폴리실리콘 증착 후 마스크 재질로 사용될 TEOS를 PECVD 장비를 이용하여 7000 Å 두께로 증착하였고, 사진식각 공정을 실시하여 패터닝한 후 표 1에서의 실험 조건에 따라 RF power, Cl₂ 유량 그리고 챔버내 압력을 변화시키면서 폴리실리콘을 RIE 식각하였다.

III. 실험 결과

1. 챔버내 압력에 따른 비등방도

식각단면에 대한 비등방도는 그림 2와 같이 TEOS 마스크 아래에 있는 구조물의 윗변과 아랫변 길이가 각각 l₁과 l₂이고 높이가 H일 때, 다음 식과 같이 정의된다.

$$\text{비등방도(Anisotropy)} = 1 - \frac{l_2 - l_1}{2H} = 1 - \frac{d}{H} \quad (1)$$

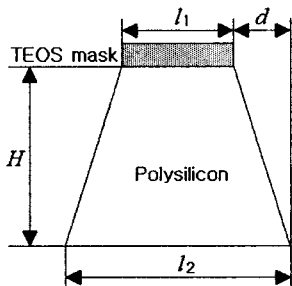


그림 2. 식각된 폴리실리콘 구조의 단면
Fig. 2. Cross section of the etched polysilicon structure

압력에 따른 구조물의 비등방도 변화를 관찰하기 위하여 RF power는 300 W, Cl₂ 유량을 58 sccm로 고정

시키고, 챔버내 압력을 100 mTorr, 150 mTorr 그리고 200 mTorr로 변화시키면서 식각 실험을 실시하였다. 그림 3은 6 μm 두께의 폴리실리콘 구조물에 대해 챔버내 압력을 변화시키면서 RIE 식각했을 때의 식각단면을 나타내는 그림으로서 그림 3의 식각단면에 대한 SEM 촬영결과를 토대로, 구조물의 식각단면에 대한 비등방도를 계산하여 그림 4에 나타내었다.

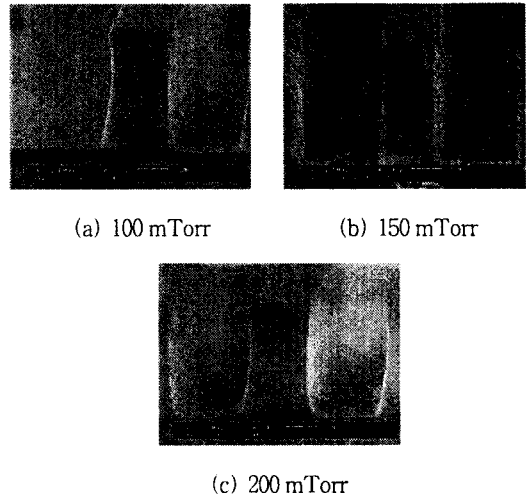


그림 3. 챔버내 압력 변화에 따른 6 μm 폴리실리콘 식각 단면 (15000X)

Fig. 3. SEM photographs of the etched polysilicon structures due to a chamber pressure variation

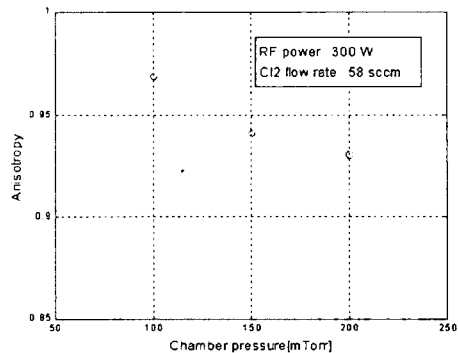


그림 4. 압력변화에 따른 비등방도
Fig. 4. Anisotropy as a function of a chamber pressure variation

그림 3에서 보는 바와 같이 압력이 증가할수록 폴리실리콘 구조물의 가운데 부분이 윗 부분과 아랫 부분

보다 더 많이 식각되었다. 이 현상은 압력이 증가할수록 self-bias가 감소하여 이온 편향 현상이 증가함에 따라 측벽 식각이 증가되기 때문이다^[1]. 그리고 그림 4에서 챔버내 압력이 증가함에 따라 폴리실리콘 구조물의 비등방도는 감소한다. 이는 일반적으로 압력이 증가하면, 전자 충돌 확률이 증가하여 self-bias가 감소해서 기판에 대한 이온의 입사각이 수직에서 벗어나기 때문이다. 또한, 입자간 충돌을 고려할 때, 압력이 높으면 이온간 충돌 가능성이 높아져서 입사 에너지가 감소하기 때문에 화학반응의 방향성이 감소하는데 반하여, 압력이 낮으면 이온이 충돌할 확률이 감소하게 되어 충분한 에너지를 가지고 이온이 입사되므로 비등방도는 향상된다.

2. RF power 변화에 따른 비등방도

비등방도에 대한 RF power의 영향을 관찰하기 위하여 챔버내 압력은 200 mTorr, Cl₂ 유량은 58 sccm로 고정시키고, RF power를 변화시키면서 식각 실험을 실시하였고 식각 단면을 그림 5에 나타내었고 그림 6은 식각 단면을 토대로 계산된 비등방도를 나타낸다.

그림 6에서 보는 바와 같이 RF power가 증가함에 따라 구조물의 비등방도는 감소하였다. 이것은 RF power가 증가하면 식각속(etchant) 농도가 증가하여 구조물의 측면 보호막 형성이 줄어들게 되어 비등방도가 감소하기 때문이다^[2].

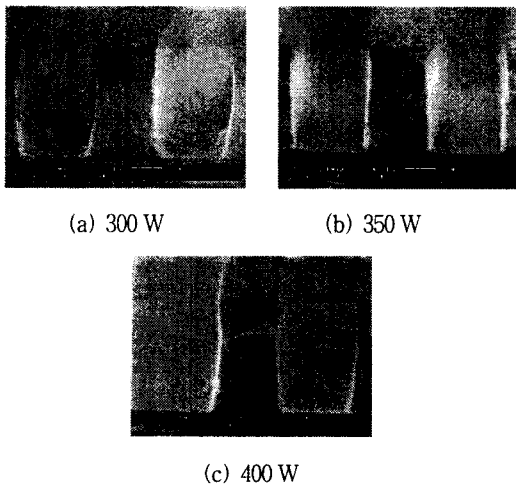


그림 5. RF power 변화에 따른 6 μ m 폴리실리콘 식각 단면 (15000X)

Fig. 5. SEM photographs of the etched polysilicon structures due to a RF power variation

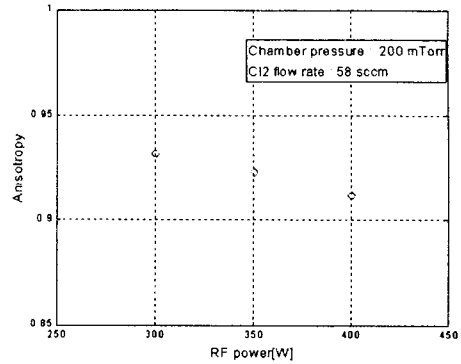


그림 6. RF power 변화에 따른 비등방도

Fig. 6. Anisotropy as a function of a RF power variation

3. Cl₂ 유량 변화에 따른 비등방도

Cl₂ 유량 변화에 의한 비등방도 변화를 관찰하기 위하여 챔버내 압력은 200 mTorr, RF power를 300 W로 고정시키고, Cl₂ 유량을 변화시키면서 식각 실험을 실시하였다.

그림 7은 6 μ m 두께의 폴리실리콘 구조물에 대해 Cl₂ 유량 변화에 따른 식각단면을 나타내는 그림이고 그림 7의 식각단면에 대한 SEM 촬영결과를 토대로, 구조물의 식각단면에 대한 비등방도를 계산하여 그림 8에 나타내었다.

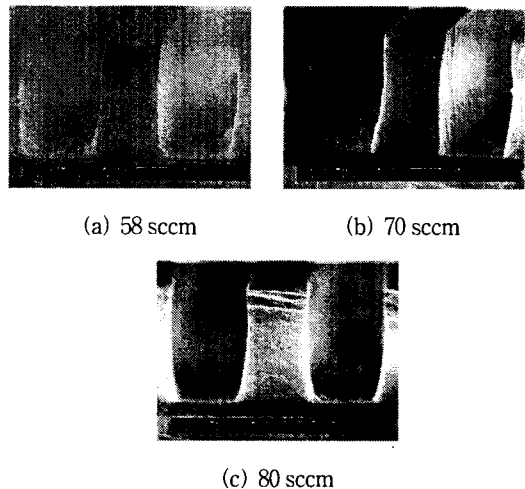


그림 7. Cl₂ 유량 변화에 따른 6 μ m 폴리실리콘 식각 단면 (15000X)

Fig. 7. SEM photographs of the etched polysilicon structures due to a Cl₂ flow rate variation

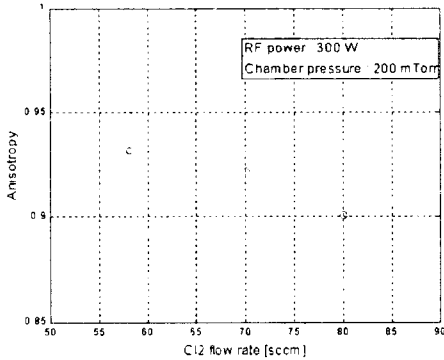


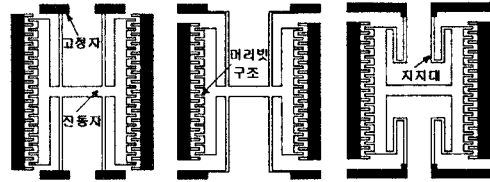
그림 8. Cl₂ 유량 변화에 따른 비등방도
Fig. 8. Anisotropy as a function of a Cl₂ flow rate variation

그림 8에서 보는 바와 같이 Cl₂ 유량이 증가함에 따라 구조물의 비등방도는 감소하였다. 염소 원자는 화학적 식각을 일으켜 구조물의 바닥면 식각과 동시에 구조물의 측벽을 식각하게 되어 등방성을 나타내게 하는 식각작용이다. Cl₂ 유량이 증가할수록 이러한 염소 원자의 농도가 증가해서 구조물의 비등방도가 감소한다.

IV. 비등방도 감소에 따른 머리빗형 액츄에이터에서의 동작 특성

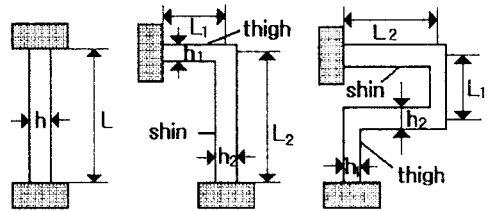
머리빗형 액츄에이터를 제작할 때 높은 비등방도를 나타내는 RIE 공정으로 식각할 경우에도 구조물의 비등방성은 공정 조건에 따라 변화한다. 특히 머리빗형 액츄에이터에서는 지지대의 비등방도 변화가 머리빗형 액츄에이터의 스프링 상수, 공진 주파수, 정전 구동력 그리고 진동자 변위를 변화시키므로 설계된 구조물의 예상 동작 특성과 다른 출력을 얻게 된다. 따라서 본 절에서는 비등방도 변화에 따른 머리빗형 액츄에이터에서의 동작 특성 변화를 예측하였다. 이를 위해 설계된 머리빗형 액츄에이터의 개념도를 그림 9에 나타냈다.

그림 9에서 보는 바와 같이 머리빗형 액츄에이터는 fixed-fixed, crab-leg, 그리고 double crab-leg 구조로 설계하였고 각 구조물에서 지지대는 스프링 역할을 하는 것으로 그림 10에서 보는 것과 같이 지지대의 형태에 따라 머리빗형 액츄에이터를 구분할 수 있다. 각 구조물에 대한 설계치수를 표 2에 나타냈다.



(a) Fixed-fixed (b) Crab-leg (c) Double crab-leg
그림 9. 설계된 머리빗형 액츄에이터의 개념도

Fig. 9. Schematic view of the designed comb actuators



(a) Fixed-Fixed (b) Crab-leg (c) Double crab-leg

그림 10. 각 구조물에서의 지지대

Fig. 10. Schematic view of support beams in each comb actuators

표 2. 머리빗형 액츄에이터 지지대의 설계 치수(μm)
Table 2. Designed values of the supporting beam in comb actuators

	beam thickness, H	beam width, w	beam length, L	tight width, w_1	shin width, w_2	thigh length, L_1	shin length, L_2
fixed-fixed	2	3	100	-			
crab-leg	2	-	-	3	3.3	7.9	100
double crab-leg	2	-	-	3	3.3	5.3	67

표 2에서 지지대의 두께는 MPC 공정에서의 폴리실리콘 두께인 2 μm로 하였고 지지대 폭은 최소선폭인 3 μm로 설계하였다. 그리고 지지대에서의 응력을 최적화시키기 위해 shin 폭을 thigh보다 0.3 μm 넓게 설계하였다^[5]. 그리고 표 2의 설계치수를 바탕으로 각 구조물의 질량을 계산하였고 스프링 상수(K)와 공진주파수(f)를 다음 식 (2)와 (3)을 이용하여 예측하였으며 그 결과를 표 3에 정리하였다^[6, 7].

$$K_f = \frac{48EI}{L^3}, K_c = \frac{48EI_2}{L_2^3} \left(\frac{1+\nu}{4+\nu} \right), \quad (2)$$

$$K_d = \frac{1}{2} \frac{48EI_2}{L_2^3} \left(\frac{1+\nu}{4+\nu} \right)$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}} \quad (3)$$

식 (2)에서 K 의 각 아래 첨자는 fixed-fixed, crab-leg 그리고 double crab-leg 구조의 첫글자를 의미한다. 스프링 상수에서 E 는 영계수(Young's modulus), I 는 fixed-fixed 구조에서의 모멘트, I_1 과 I_2 는 crab-leg 구조와 double crab-leg 구조에서 각각 'thigh'와 'shin'의 모멘트이고 ν 는 포아송비를 나타내며 식 (3)에서 M 은 구조물의 질량을 나타낸다^{6, 7)}.

표 3. 설계된 구조의 질량, 스프링 상수 그리고 공진 주파수

Table 3. Mass, spring constant, and resonant frequency in the designed comb actuators

Comb actuator type	Mass [kg]	K [N/m]	f_r [kHz]
fixed-fixed	0.1855×10^{-9}	33.48	88.81
crab-leg	0.1855×10^{-9}	34.67	90.37
double crab-leg	0.2036×10^{-9}	57.62	111.22

머리빗형 액츄에이터에서의 동작 특성 해석을 간단히 하기 위해서 진동자의 질량은 변화하지 않는다고 가정하고 이때의 지지대 비등방도 변화에 따른 스프링 상수값의 변화를 그림 11에 나타내었다.

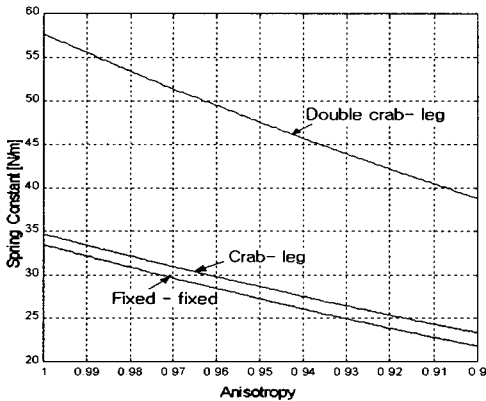


그림 11. 비등방도에 따른 스프링 상수 변화
Fig. 11. Spring constant as a function of an anisotropy

그림 11은 두께 H 를 일정하게 유지하면서 머리빗형 액츄에이터 폭이 감소되어 비등방도가 1에서 0.9까지 변했을 때 각 구조물에서의 스프링 상수 변화를 나타낸다. 그림 11에서 비등방도가 감소함에 따라 스프링 상수는 거의 선형적으로 감소하고 있다. Fixed-fixed 구조의 스프링 상수는 33.48 N/m(비등방도 1)에서 21.89 N/m(비등방도 0.9)로 감소하고 crab-leg 구조는 34.67 N/m(비등방도 1)에서 23.33 N/m(비등방도 0.9)으로 감소하여 fixed-fixed 구조와 crab-leg 구조에서 비등방도 감소에 따른 스프링 상수 감소량은 거의 같음을 보이고 있다. Double crab-leg 구조는 57.62 N/m(비등방도 1)에서 38.78 N/m(비등방도 0.9)로 감소하여 다른 구조물들에 비해 스프링 상수의 감소량이 크다. 즉, double crab-leg 구조의 감소 기울기가 가장 크며 fixed-fixed 구조 그리고 crab-leg 구조 순으로 감소 기울기가 클 것으로 예측된다.

머리빗형 액츄에이터에서의 비등방도 변화에 따른 공진 주파수의 변화를 그림 12에 나타냈다. 그림 12에서 fixed-fixed 구조인 경우 비등방도가 1일 때 공진 주파수는 88.81 kHz에서 비등방도가 0.9일 때 공진 주파수는 71.66 kHz로 감소하며 crab-leg 구조는 90.37 kHz(비등방도 1)에서 74.14 kHz(비등방도 0.9)로 감소하여 fixed-fixed 구조와 crab-leg 구조에서 공진 주파수 감소량이 거의 비슷하게 나타날 것으로 예측된다. Double crab-leg 구조는 111.22 kHz(비등방도 1)에서 91.25 kHz(비등방도 0.9)로 다른 구조물에서 보다 비등방도 감소에 따른 공진 주파수 감소량이 큰 것으로 예측된다.

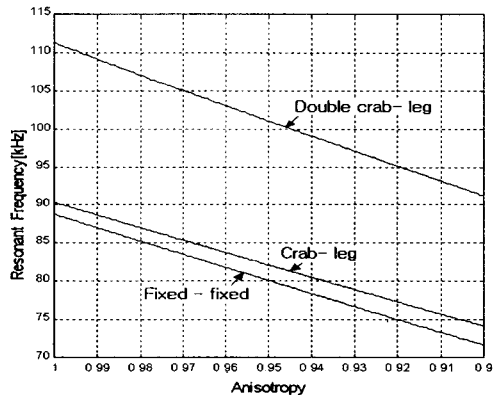


그림 12. 비등방도에 따른 공진 주파수 변화
Fig. 12. Resonant frequency as a function of an anisotropy

머리빗형 액츄에이터에서 두 머리빗 구조물 사이에서 작용하는 힘 F 는 $4NH\epsilon_0V^2/g$ 로 나타낼 수 있다. 여기서 V 는 인가 전압, N 은 머리빗 구조물의 개수, H 는 머리빗 구조물의 두께 그리고 g 는 머리빗 구조물 사이의 거리를 나타낸다^[5].

RIE 식각시 머리빗형 액츄에이터의 비등방도가 감소하면 두 머리빗 구조물 사이의 거리 g 가 변화하므로 정전 구동력도 변한다. 이러한 정전 구동력의 변화를 그림 13에 나타냈다.

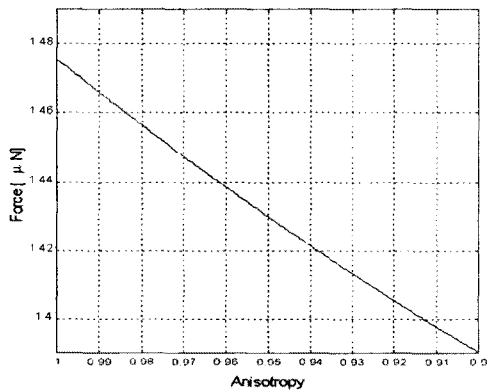


그림 13. 비등방도에 따른 정전 구동력 변화
Fig. 13. Electro static force as varying an anisotropy

그림 13을 얻기 위해서 입력 전압은 50 V로 가정하였다. 그림 13에 의하면 정전 구동력은 비등방도가 1일 때 1.476 μN에서 비등방도가 감소하면서 정전 구동력은 감소하여 비등방도가 0.9가 되는 경우 정전 구동력은 1.39 μN으로 감소하고 있다. 정전 구동력 F 는 머리빗 구조물 사이의 거리에 반비례하는데 비등방도가 감소하면 빔의 단면이 사다리꼴로 변하여 두 머리빗 구조물 사이의 거리 g 가 증가하게 되므로 정전 구동력 F 는 감소한다.

각 구조물에서 비등방도에 따른 진동자 변위에 대한 변화를 그림 14에 나타냈다. Q인자 값은 100, 입력 전압은 50 V로 가정하였다.

그림 14에서 진동자 변위는 세 구조물에서 모두 증가하고 있다. 이는 정전 구동력이 일정할 때 스프링 상수가 작을수록 그리고 스프링 상수가 일정할 때 정전 구동력이 증가할수록 진동자의 변위가 증가하는데 그림 11과 13에서 보면 비등방도가 감소함에 따른 스프링 상수의 감소량이 정전 구동력 감소량보다 더 크기

때문에 변위는 증가하게 된다. 그림 14에서 fixed-fixed 구조는 4.41 μm(비등방도 1)에서 6.38 μm로 증가하며 crab-leg 구조는 4.27 μm(비등방도 1)에서 5.96 μm로 증가한다. 그리고 double crab-leg 구조는 2.56 μm에서 3.59 μm로 증가하여 진동자 변위는 fixed-fixed 구조에서 가장 많이 증가하는 것으로 예측된다.

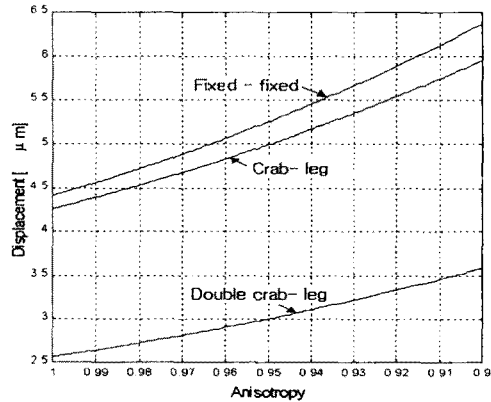


그림 14. 비등방도에 따른 진동자 변위 변화
Fig. 14. Displacement as a function of an anisotropy

V. 결론

본 연구에서는 RIE 식각으로 폴리실리콘 머리빗형 액츄에이터를 제작하고자 하는 경우에 나타나는 비등방도 변화에 의한 머리빗 액츄에이터의 동작 특성 변화에 대해 연구하였다. 비등방도는 구조층으로 사용되는 폴리실리콘의 식각 공정에서 매우 중요한 의미를 갖는데, 그 이유는 머리빗형 액츄에이터에서 구조물의 비등방도가 변하면 구조물의 질량이 변하고, 단면의 형상이 변해서 스프링 상수와 정전력에 영향을 주므로 공진주파수를 변화시키며, 인가된 전압에서 진동자의 변위가 설계에서의 예상과 다르게 되기 때문이다. 두꺼운 폴리실리콘에 대한 RIE 식각에서 비등방도에 영향을 주는 현상은 이온간 충돌, 측벽 charging에 의한 이온 편향, 그리고 보호막 형성이며, 이를 제어하는 공정 변수는 RF power, 가스 유량, 그리고 챔버내 압력이다. 따라서, 이러한 공정변수를 변화시키면서 6 μm 두께로 증착된 폴리실리콘에 대한 RIE 식각 실험을 실시해서 그 결과를 SEM으로 관찰하였다. RF power, Cl₂ 유량을 일정하게 하고 챔버내 압력을 100 mTorr, 150 mTorr 그리고 200 mTorr로 변화시킬 때 비등방도가

0.969에서 0.932로 감소하였고, Cl_2 유량, 챔버내 압력을 일정하게 하고 RF power를 300 W, 350 W 그리고 400 W로 변화시킬 때, 비등방도는 0.932에서 0.912로 감소하였다. 그리고 RF power, 챔버내 압력을 고정시키고 Cl_2 유량을 58 sccm, 70 sccm 그리고 80 sccm로 변화시킬 때 비등방도는 0.932에서 0.901로 감소하였다. 따라서 RIE 식각을 통해 제작된 머리빗형 액츄에이터인 경우 구조물의 비등방도에 의해 동작 특성이 변화할 것이다. 동작 특성 변화를 확인하기 위해 fixed-fixed, crab-leg 그리고 double crab-leg 지지빔을 갖는 세 가지 머리빗형 액츄에이터에 대해 비등방도 변화에 따른 스프링 상수, 공진 주파수, 정전 구동력 그리고 진동자 변위를 분석하였다. 이러한 분석 결과로 동작 특성 변화 중에서 스프링 상수와 진동자 변위가 가장 큰 영향을 받았다. 그리고 동작 특성 변화에서 변화량은 각 구조물에 따라 다르며 세 구조물 중 double crab-leg 지지빔을 갖는 구조가 가장 큰 변화량을 나타냈고 fixed-fixed 지지빔 구조와 crab-leg 지지빔 구조는 거의 비슷한 변화량을 나타냈다. 즉 세 가지 구조 중 double crab-leg 구조가 비등방도에 의한 영향을 가장 많이 받으므로 RIE 식각 공정의 변화가 불가피한 경우에는 double crab-leg 지지빔보다는 fixed-fixed 지지빔이나 crab-leg 지지빔을 갖는 머리빗형 액츄에이터를 선택하는 것이 유리하다는 결론을 얻었다.

감사의 글

본 논문은 교육비 연구비 지원 (과제번호 ISRC 97-E-4205)에 의해 이루어졌습니다.

참고 문헌

- [1] 조장호, 한아름, 조동일, "폴리실리콘의 비등방 식각과 식각비등방성이 MEMS 구조물에 미치는 영향," 대한전기학회 MEMS 연구회 학술발표회 논문집, pp. 229-241, 1997
- [2] Rob Legtenberg, Henri Jansen, Meint de Boer, and Miko Elwenspoek, "Anisotropic Reactive Ion Etching of Silicon Using $SF_6/O_2/CHF_3$ Gas Mixtures," J. Electrochem. Soc., Vol. 142, No. 6, pp. 2020-2028, 1995
- [3] C. J. Mogab and H. J. Levinstein, "Anisotropic plasma etching of polysilicon", J. Vac. Sci. Technology, 17, pp. 721-730, 1980
- [4] Koji Akimoto, Yuji Uenishi, Kazuhara Honma, and Shinji Nagaoka, "Evaluation of Comb-Drive Nickel Micromirror for Fiber Optical Communication," IEEE The 10th Annual International Workshop on Micro Electro Mechanical Systems, pp. 66-71, 1997
- [5] Abert P. Pisano and Young-Ho Cho, "Mechanical Design Issue in Laterally-driven Microstructures," Sensor and Actuators, A21-A23, pp. 1060-1064, 1990
- [6] 조영호, "수평공진형 다결정실리콘 미소액츄에이터의 설계, 제작 및 시험," 대한기계학회논문집(A), 제 20권, 제 5호, pp. 1363-1371, 1996
- [7] William C. Tang, Tu-Cuong H. Nguyen, and Roger T. Howe, "Laterally Driven Polysilicon Resonant Microstructures," Sensor and Actuators, 20, pp. 25-32, 1989
- [8] 한승오, 박정호, 김성원, 신성균, "마이크로머시닝 기술을 이용한 실리콘 2축 각속도계의 설계," 대한전기학회 MEMS 연구회 학술 발표회 논문집, pp. 119-130, 1997

著 者 紹 介



김 봉 수 (金奉秀)
 1971년 6월 15일 생
 1998년 2월 고려대학교 전기공학과 졸업(공학사)
 1998 ~ 현재 고려대학교 전기공학과 대학원 석사과정 재학중



박 정 호 (朴政浩)
 1960년 2월 5일 생.
 1985년 Purdue 대학교 전기공학과 졸업(공학사)
 1988년 Purdue 대학교 전기공학과 공학석사

1992년 Purdue 대학교 전기공학과 공학박사
 1992 ~ 1995년 Intel Corporation 책임연구원
 1995 ~ 1998년 고려대학교 전기공학과 조교수
 1998 ~ 현재 고려대학교 전기공학과 부교수



박 호 준 (朴皓竣)
 1965년 9월 23일 생.
 1989년 2월 고려대학교 기계공학과 졸업(공학사)
 1991년 2월 고려대학교 기계공학과 대학원 졸업(공학석사)
 1991 ~ 1997년 2월 (주) 삼성전기

종합연구소 연구원

1999년 2월 고려대학교 마이크로머시닝 박사과정 수료