

論文2000-37SD-8-1

# SOI를 이용한 하드 디스크 드라이브용 정전형 트랙 추적 마이크로 액추에이터의 제작

## (Fabrication of Electrostatic Track-Following Microactuator for Hard Disk Drive Using SOI)

金奉煥\*, 全國鎭\*, 成又慶\*\*, 李曉政\*\*

(Bong-Hwan Kim, Kukjin Chun, Woo Kyeong Seong, and Hyo Jung Lee)

### 요 약

0.3 g의 하드디스크 드라이브에 사용될 수 있는 마그네틱 헤드를 장착할 수 있는 트랙 추적용 마이크로 액추에이터를 제작하였다. 이 액추에이터는 정전방식을 적용하였으며 2  $\mu\text{m}$  두께의 열산화막과 20  $\mu\text{m}$  두께의 실리콘 막이 직접집합된 SOI 웨이퍼를 이용하여 단지 3장의 마스크만을 사용하여 제작하였다. 고유진동수는 18.5 kHz이고 15 V DC와 15 V AC 전압이 동시에 가해진 상황에서 그 변위가 1.4  $\mu\text{m}$ 이었고 이때 30 V일 때 50 N의 정전력을 나타내었다. 또한 2.21 kHz의 서보 주파수 대역에서 이득여유가 7.51 dB이고 위상여유가 50.98°이었다. 따라서 이 트랙추적 마이크로 액추에이터는 10 Gb/in<sup>2</sup>의 기록밀도를 요구하는 하드 디스크 드라이브에 충분히 이용될 수 있을 것이다.

### Abstract

We have achieved a high aspect ratio track-following microactuator (TFMA) which is capable of driving 0.3  $\mu\text{g}$  magnetic head for hard disk drive (HDD). It was fabricated on silicon on insulator (SOI) wafer with 20  $\mu\text{m}$  thick active silicon and 2  $\mu\text{m}$  thick thermally grown oxide and piggyback electrostatic principle was used for driving TFMA. The first vibration mode frequency of TFMA was 18.5 kHz which is enough for a recording density of higher than 10 Gb/in<sup>2</sup>. Its displacement was 1.4  $\mu\text{m}$  when 15 V dc bias plus 15 V ac sinusoidal driving input was applied and its electrostatic force was 50 N. The fabricated actuator shows 7.51 dB of gain margin and 50.98° of phase margin for 2.21 kHz servo-bandwidth.

### I. 서 론

20세기 후반기에 들어서 전자기술이 급속히 발전함

\* 正會員, 서울大學校 電氣工學部

(School of Electrical Engineering, Seoul National University)

\*\* 正會員, 亞洲大學校 分子科學技術學科

(Department of Molecular Science and Technology, Ajou University)

接受日字:1999年11月5日, 수정완료일:2000年6月29日

에 따라 고도의 기능을 갖춘 시스템들이 등장하게 되었다. 이런 시스템에서는 시스템의 작동상태를 파악할 수 있는 고정밀의 센서와 작동기를 필요로 하고 있으며 앞으로 이런 추세는 계속 심화될 것이다. 이런 고정밀의 센서나 작동기를 제작하는 기술로 각광받고 있는 것이 마이크로머시닝 기술이다. 이 기술은 크게 표면미세가공기술과 몸체미세가공기술로 나뉘는데, 표면미세가공기술(surface micromachining)은 몸체미세가공기술(bulk micromachining)에 비해서 복잡한 2차원 형상을 만드는데 적합하기 때문에 마이크로모터, comb-drive 액추에이터, 가속도 센서의 관성 질량, 자이로스코프의 진동빔 등을 제작하는데 많이 사용되며 또한 모든 공

정이 반도체공정과 집적화가 가능하기 때문에 대량 일괄 작업이 가능하다는 장점과 반도체 공정을 이용하여 감지회로를 같은 기판 위에 집적화 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이 기술을 이용하여 하드 디스크 드라이브에 필요한 마이크로 액추에이터를 제작하였다.

현재의 대부분의 하드디스크 드라이브의 기록밀도는  $1 \text{ Gb/in}^2$ , 트랙밀도는  $5 \text{ kTPI}$ (track per inch), 그리고  $500\sim 600 \text{ Hz}$ 의 서보 주파수 대역을 가지고 있으며 보이스 코일 모터(VCM, Voice Coil Motor)을 이용하여 트랙 탐색과 트랙 추적을 모두 수행하는데, 이것은  $4\mu\text{m}$ 의 트랙 폭에  $0.5\mu\text{m}$ 의 트랙킹 정확도(tracking accuracy)의 기술로 구현이 가능하며 VCM만을 이용하여 트랙 탐색과 추적을 수행할 수 있는 기록밀도의 한계는  $5 \text{ Gb/in}^2$ 로 알려져 있다. 그러나 HDD의 기록밀도가  $10 \text{ Gb/in}^2$ , 트랙 밀도가  $25 \text{ kTPI}$  이상의 차세대 HDD에서는 트랙간 간격이  $1\mu\text{m}$  정도까지 줄어들게 되어 VCM만으로 트랙 탐색과 추적을 제대로 수행하는 것이 불가능하게 된다<sup>[1-3]</sup>. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 제안된 방법이 이중 스테이지 액추에이터(Dual Stage Actuator)인데 이것은 VCM과 더불어 좀 더 정확한 위치 제어가 가능한 트랙 추적 마이크로 액추에이터(TFMA, track-following microactuator)를 사용하여 읽기/쓰기 헤드를 구동하는 방식을 말한다. 이러한 이중 스테이지 액추에이터에서는 VCM이 트랙 탐색에서의 헤드 구동만을 담당하고, 트랙 추적 동작시에는 TFMA가 헤드의 구동을 담당하게 된다<sup>[4]</sup>. 현재 MEMS 분야에서 활발히 개발되고 있는 마이크로 액추에이터에는 정전방식<sup>[1,2,5]</sup>, 전자장방식<sup>[6-7]</sup>, 압전방식<sup>[8]</sup>, 열방식, 형상기억방식 등이 있다. 이 중에서 정전형, 전자장형, 압전형 방식이 HDD용 마이크로 액추에이터로 주로 이용되고 있다. 그러나 전자장형과 압전형 방식은 액추에이터가 읽기/쓰기 헤드와 상당히 멀리 떨어져 위치하기 때문에 주파수 대역을 제한하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 앞에서 언급한 문제점을 개선한 정전형 comb-drive의 마이크로 액추에이터를 제작하였고 그 특성을 평가하였다. 특히 SOI를 이용한 트랙 추적용 마이크로 액추에이터의 제작공정에 대해 주로 논하였다. 제작 공정의 특징은 첫째, SOI 웨이퍼를 이용하기 때문에 구조물의 희생층을 위한 공정이 필요하지 않아서 제작공정이 간단하다. 둘째, 구조물을 위해 구리나 니켈<sup>[9]</sup> 같은 금속을 전기도금하지 않고서도 전식식각만으로 10:1 이상의 높은 종횡비를 얻을 수 있다. 셋째, 전자장

방식 보다 상대적으로 높은 구동전압이 필요하지만 comb을 많이 만들어 줌으로써 구동전압을 낮게 할 수 있다.

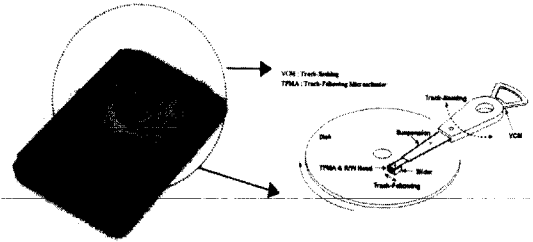


그림 1. 하드 디스크 드라이브의 내부 모습과 이중 스테이지 액추에이터 시스템  
Fig. 1. HDD and dual stage actuator system.

## II. 트랙 추적 마이크로 액추에이터의 제작

### 1. 설계

HDD의 구동부 설계에 고려되어야 할 변수는 구조체의 고유진동과 제작 용이성, 구동 안정성 및 가격이 포함된다. 본 논문에서 제시한 piggyback형의 마이크로액추에이터의 설계목표는  $1 \mu\text{m}$ 의 트랙폭에  $\pm 0.1 \mu\text{m}$ 의 트랙정확도를 가지고 스트로크가  $1\mu\text{m}$ 이고 서보 주파수 대역이  $2 \text{ kHz}$  이상인 성능을 가지는 액추에이터를 제작하는 것이다. 물리적인 한계를 확인하기 위해 단순한 스프링, 질량 및 구동부로 구성된 시스템을 고려하면 서보 주파수 대역이  $2 \text{ kHz}$  인 시스템을 구성하기 위해서는 시스템의 고유진동수가  $15 \text{ kHz}$  이상이 요구된다. 액추에이터의 크기는  $1,000\mu\text{m} \times 300 \mu\text{m}$ 이고 액추에이터내의 헤드가 부착될 플레이트의 크기는  $300\mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$ 로 설계되었다. 또한 구동전압은  $20 \text{ V}$  이하, 고유진동수는  $10 \text{ kHz}$  이상, Comb의 finger와 폭은 최소선폭  $2 \mu\text{m}$ , 마지막 액추에이터의 본딩 패드는  $70 \mu\text{m}$  피치에  $50\mu\text{m}$  폭으로 설계되었다. Flexure의 강성계수는 ANSYS를 이용하여 유한요소해석을 하였고 제작 공정 시 발생할 수 있는 잔류응력의 영향을 최소화 하기 위해 대칭 형태로 설계하였다. 본 액추에이터의 특이한 사항은 R/W 신호를 스프링 위로 형성한다는 것이다. 본 논문에서 제작된 마이크로 액추에이터는 하드 디스크 드라이브용으로써 몸체에 수직으로 부착되도록 설계되었다. 본 연구에서 제작된 마이크로 액추에이터와 추후 제작될 헤드와 몸체를 각각 제작하여 최종단계에 어세블하는 방식을 취하였다. 그림 2는 최종 단계의 헤

드 집합에 대한 개념도를 나타내었다.

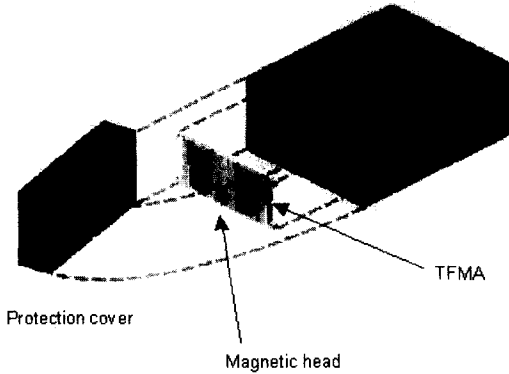


그림 2. 헤드/슬라이드/액추에이터 개념도  
Fig. 2. The concept of head/slider/TFMA assembly.

일반적인 comb-drive는 mover의 이동방향에 수직방향으로 형성된 comb-drive gap(g)에서의 정전용량 변화에 의해서 이동방향으로 정전기력이 발생한다. Comb-drive에서의 발생력은 전극(electrode)의 개수에 비례하므로 발생력을 크게 하기 위해서는 단위면적당 전극의 개수를 많게 해야한다. 단위면적당 전극의 개수를 크게 하기 위해서는 전극의 길이를 짧게 하고 mover와 stator를 가깝게 해야한다. 이러한 이유에서 mover와 stator의 거리를 가깝게 하면, mover 이동방향과 수평방향으로 안쪽과 바깥쪽에 형성된 transverse gap( $g_1, g_2$ ) 각각에 의해서 추가적인 정전기력이 발생된다(그림 3(a) 참조). 이러한 발생력을 정리하여 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$F = F(x) + F(t)$$

$$= nm_b \epsilon_0 V^2 \frac{t}{g} + \frac{1}{l} n_b \epsilon_0 V^2 t \left[ \frac{2nl_f}{(g_1 = d)^2} - \frac{l_b}{(g_2 + d)^2} \right]$$

이 식에서 알 수 있듯이, 단위면적당 전극의 개수를 크게 한 정전방식 마이크로액추에이터의 발생력은 comb-drive gap에 의한 comb-drive 힘,  $F(x)$ 와 transverse gap에 의한 transverse 힘,  $F(t)$ 로 구성된다. 또한, 같은 전압 조건에서 발생력을 크게 하기 위해서는 두께( $t$ )를 크게 하거나, gap( $g$ )를 작게 해야 한다. 정전방식 마이크로액추에이터에서 gap의 크기는 작을수록 발생력이 커지지만, 그 gap의 크기는 제조공정에 의해서 결정된다. 일반적으로 반도체 공정인 UV

lithography를 사용하여 제조하는 경우에는 최소 gap 크기는  $2\mu\text{m}$  정도이다. 따라서, 제조공정을 고려하여 단위면적당 발생력을 크게하는 목적에 맞추어 설계하면 그림 3(b)의 구조를 갖게 된다.

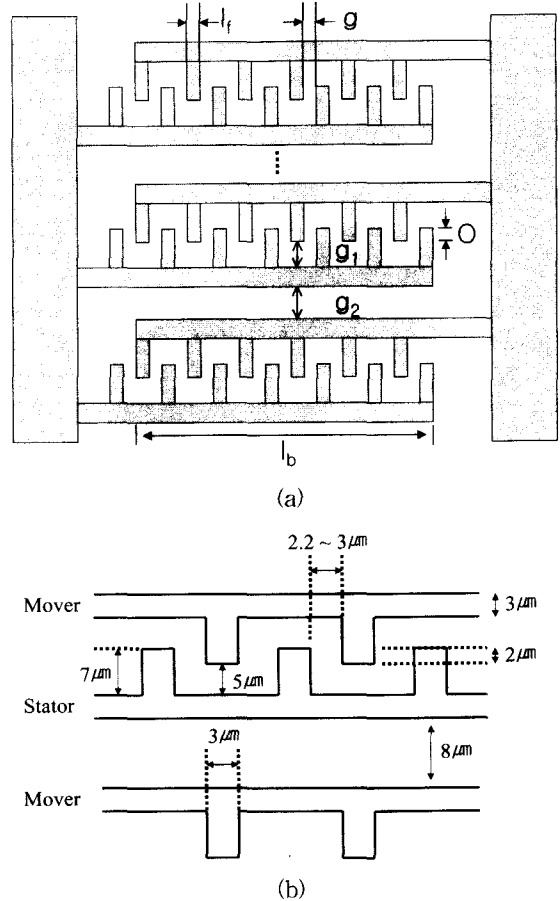


그림 3. 액추에이터의 구조. (a) comb 종류 (b) Comb 구조

Fig. 3. Structure of TFMA. (a) Comb type (b) Schematics of comb type TFMA.

### 2. 제작공정

금속 신호선이 집적화된 하드 디스크 드라이브용 정전형 마이크로 액추에이터의 제작공정은 크게  $20\mu\text{m}$  실리콘의 도핑, 질화막의 증착 및 패터닝, 하드 마스크용  $6\mu\text{m}$ 의 두꺼운 TEOS 산화막의 증착 및 패터닝, 금속 신호선인 Mo의 식각과 패터닝,  $20\mu\text{m}$  실리콘의 식각, 마지막으로 희생층 제거를 통한 구조물의 완성으로 나눌 수 있다(그림 4).

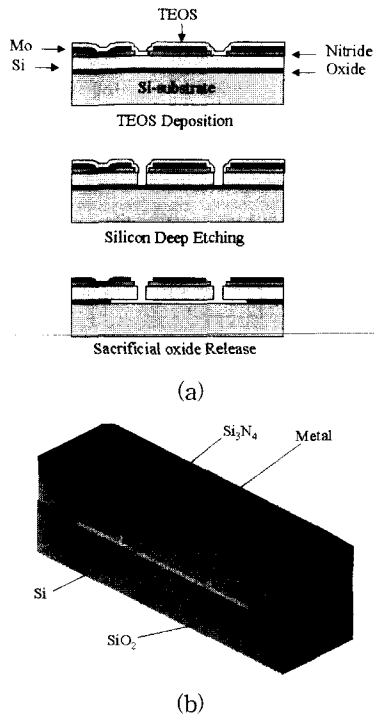


그림 4. 공정순서도 (a) 금속 신호선이 집적화된 TFMA의 공정순서도. (b) TFMA의 원근도  
 Fig. 4. Process flow. (a) flow, (b) perspective view.

먼저 SOI는 열산화막 2 $\mu\text{m}$ 위에 20 $\mu\text{m}$ 의 단결정 실리콘이 올라가 있는 N-type 100 웨이퍼를 사용하였다. SOI 웨이퍼의 액티브 실리콘은 확산에 의해 액체소스인  $\text{POCl}_3$ 로 1000  $^\circ\text{C}$ 에서 30분 동안 선증착(pre-deposition)을 한 후 1000 $^\circ\text{C}$ 에서 60분 동안 후확산(drive-in)을 수행하였다. 다음으로 2500 A의 질화막을 LPCVD를 이용하여 증착하고 RIE를 이용해 패터닝 하였다. 금속 신호선으로 사용하기 위해 1 $\mu\text{m}$ 의 두꺼운 폴리브덴을 증착하고 RIE로 식각하였다. 하드 마스크인 6 $\mu\text{m}$ 의 두꺼운 TEOS(thetraethylorthosilicate) 산화막을 사진 식각을 통해 패터닝하였으며 연속적으로 폴리브덴과 20 $\mu\text{m}$ 의 두꺼운 단결정 실리콘을 STS Multiplex ICP 장비를 이용해 가장 좋은 비등방도와 검은 실리콘을 제거하는 식각 조건으로 식각하였다. 금속 신호선을 보호하기 위해 7:1 BHF를 이용하여 희생층을 습식식각 하였으며, 마지막으로 구조물을 구동시키기 위해 승화전조 방식 및 화학물질을 이용한 점착방식 방식[10]을 이용하여 구조물을 부유시켰다.

(1) 단결정 실리콘 식각

액추에이터 제작에 있어서 가장 중요한 것은 옆면의

형상이 수직에 가깝게 식각 되어야 한다는 점이다. 이것은 저전압 구동이 가능하기 위하여서는, 제작된 머릿 스프링의 폭과 설계치의 차이가 되도록 작아야 하기 때문이다. 따라서 이와 같이 식각될 깊이가 깊으면 서도 구조물의 위쪽 부분과 아래쪽 부분의 두께의 차이가 적은, 즉 비등방도가 높은 식각 기술이 필요하다. 여러 번의 실험조건을 변화시켜 조사한 결과, 코일 파워가 300 W, 플래튼 파워가 200 W, 압력이 7 mTorr,  $\text{Cl}_2$  유량 40 sccm의 조건이 가장 좋은 식각 특성을 나타내었다. 그림 5는 TFMA의 SEM 사진이다. 여기서 비등방도(anisotropy)는 0.96이다. 비등방도란 식각이 얼마나 수직하게 진행되었는가를 평가하는 것으로 정량적으로는 마스크 치수에서 수평 방향으로 벗어난 최대 길이를 식각된 깊이로 나누어 이를 1에서 빼는 것이다. 따라서 비등방도가 1에 가까울수록 수직한 형상을 얻었음을 알 수 있다.

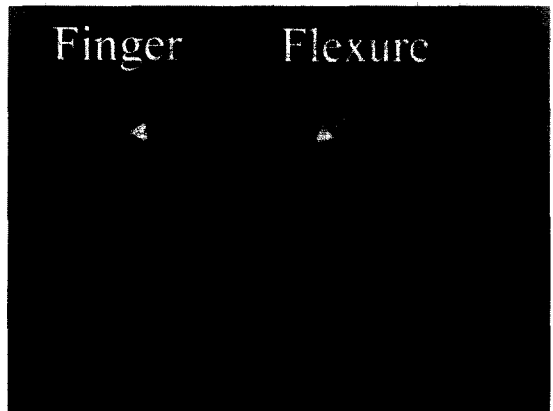


그림 5. 액추에이터의 식각사진  
 Fig. 5. SEM photo of TFMA.

(2) 금속의 선정

희생층으로 쓰이는 산화막은 주로 불산으로 습식 식각하므로 금속 신호선이 포함된 구조물인 경우 불산용액에 대한 식각 선택도가 좋은 금속을 선택해야 한다. MEMS 구조물에 사용되는 금속은 크게 금, 알루미늄, 폴리브덴, 타이타늄 등이 있으며 모두 사진식각 공정을 이용할 수 있다. 비저항 면에서 보면 금(Au)dl 2.2 $\Omega\text{cm}$ 로 가장 좋고 다음이 알루미늄, 폴리브덴 순서이다. 하지만 금은 evaporation에 의해 증착 하므로 스퍼터링에 의한 알루미늄과 폴리브덴 보다 박막과 스텝 커버리지의 질이 못하다. 또한 타이타늄의 경우 불산에 쉽게 식

각되므로 제외했다. 따라서 일차적으로 Al과 Mo을 금속 신호선으로 선택하였다. CMOS 공정에서 쓰이는 알루미늄<sup>11)~13)</sup>은 증착 및 식각면에서 어느 금속보다 이점이 많지만 HF에 대한 선택도가 상당히 낮다.

표 1. 식각률[A/min]  
Table 1. Etch Rate [A/min].

	wet ox.	TEOS	PSG	Nitride	Al	Mo
HF(49%)	17625	39690	47784	148.8	383.3	1.5
7:1 BHF	1326	1068	10242	10.2	30	5
10:1 HF	484	1572	9216	15	3200	1.5
#1 4:1:2*	890	1861	13746	7.8	9	3.3
#2 1:5:10**	426	1520	39624	28.8	412.5	0.7
#3 Pad***	168	483	2833	2.7	65.5	0.2

\* Solution #1 NH<sub>4</sub>F(40%):HF(49%):Glycerine = 4:1:2

\* Solution #2 HNO<sub>3</sub>:HF(49%):Glycerine = 1:5:10

\*\*\* Solution #3 NH<sub>4</sub>F:CH<sub>3</sub>COOH:C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>:DI = 13.5:31.8:4.2:50.5

실험은 wet station에 4인치 웨이퍼를 bath에 넣고 불산, BHF, 10:1 HF를 사용하였다. 용액 #1~#3은 같은 크기의 bath를 만들어서 식각 실험을 진행하였다. 표 1은 반도체 공정에 흔히 사용되는 불산, BHF에 대한 각 박막의 식각률과 Al의 식각을 거의 하지 않고 산화막을 식각하는 용액들에 대한 각 박막의 식각률을 나타냈다. 식각 용액 중 49% 불산이 가장 빠른 식각률을 나타내며 산화막 중에서는 PSG가 가장 빠르게 식각된다. 여기서 보면 Mo은 거의 모든 용액에 식각률이 가장 작음을 알 수 있다. Al에 대한 식각률은 용액 #1이 가장 작으나 SOI 웨이퍼의 희생층인 열산화막에 대한 식각률이 너무 작아서 사용하기가 어려운 실정이다. 따라서 선택도 및 식각율을 고려할 때 가장 좋은 습식 식각 용액은 7:1 BHF이다.

### III. 결과 및 토의

20 $\mu$ m SOI 웨이퍼를 이용하여 제작된 구조물의 깊이와 선포에 대한 중형비는 10:1 이상을 보이며 비등방도 또한 0.96으로 상당히 우수한 특성을 나타냈다. 그림 6에서 보이는 것처럼 TFMA의 스프링과 헤드 플레이트 위로 금속 신호선이 잘 형성되어 있음을 볼 수 있다. 본 논문에서는 마이크로액추에이터 부분만 제작되었으

며 헤드는 추후 제작하여 부착할 수 있도록 헤드 플레이트 부분을 포함해두었다. TFMA의 구동실험은 동적 신호분석 장치(Dynamic signal analyzer, HP 35670A), 전압증폭기(Voltage amplifier, HP 6826A), 디지털 오실로스코프(Digital oscilloscope, Tektronix TDS 754A), 화이버 간섭기(Fiber interferometer, Polytec OFV 512), Micro spot head(Polytec OFV 130), 진동 제어기(Vibrometer controller, Polytec OFV 3001) 등을 이용하여 전압 대 변위 곡선, 주파수 특성 등을 분석할 수 있었다. 측정된 스프링 상수는 37.88 N/m였고 입력전압 30 $\mu$ m에서 최대 50  $\mu$ N의 정전력을 발생시킬 수 있었다.

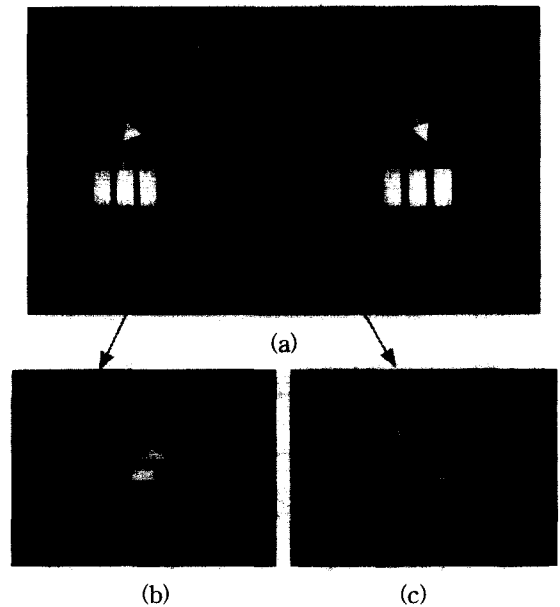


그림 6. 금속 신호선이 집적화된 TFMA. (a) 액추에이터 (b) Flexure 부분 (c) Plate 부분  
Fig. 6. TFMA with integrated metal signal line (a) TFMA. (b) Flexure (c) Plate.

그림 7은 finger gap과 flexure 폭이 2.2  $\mu$ m인 액추에이터에서 측정된 주파수특성을 보여준다. 초기 고유 주파수는 18.5 kHz 이었다. TFMA는 입력 전압에 의하여 출력 변위가 비선형성으로 나타나고 응답속도는 수  $\mu$ s 이내로 매우 작으므로, 저주파수의 삼각파를 인가하여 전압 대 변위 특성을 조사하였다. 또한 인가전압에 대한 변위가 비선형성을 나타내며 30 V의 인가전압에서 1.4  $\mu$ m 정도의 변위를 가짐을 알 수 있다. 트랙추적 제어 시스템을 이용하여 측정된 결과 2.21 kHz 서보

주파수 대역에서 7.51 dB의 이득여유와 50.98의 위상여유를 가짐을 확인하였다. 그림 8은 힘과 변위 그리고 구동전압에 대한 특성을 보여주고 있다.

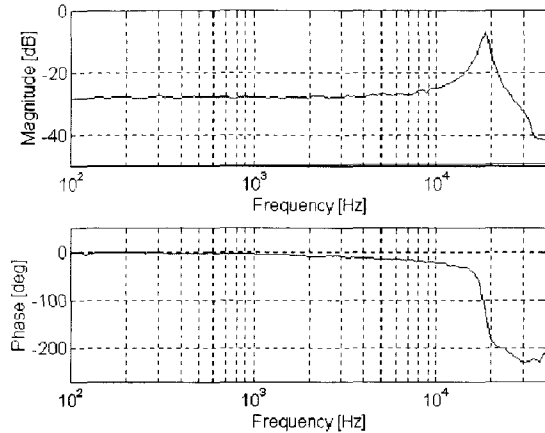


그림 7. 주파수와 위상 곡선, finger gap=2.2 $\mu$ m, flexure width=2.2 $\mu$ m

Fig. 7. Frequency and phase response characteristic curve, finger gap=2.2 $\mu$ m, flexure width=2.2 $\mu$ m

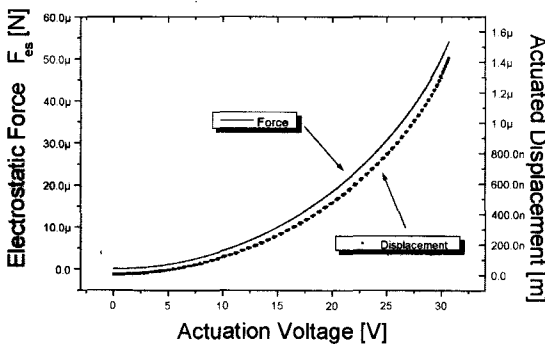


그림 8. 정전력과 변위에 관한 특성곡선 : 2.2  $\mu$ m gap finger, 2.2  $\mu$ m width flexure and 3 $\mu$ m width comb

Fig. 8. Characteristic curve voltage vs. electrostatic force and displacement : 2.2  $\mu$ m gap finger, 2.2  $\mu$ m width flexure and 3 $\mu$ m width comb.

이상의 결과들에서 측정치를 초기 설계치와 비교해 볼 때 20 V 이하의 구동전압에서 1  $\mu$ m 이상의 변위가 나오도록 설계하였지만 공정상의 오차로 인해 27 V 정도에 1 $\mu$ m 정도의 변위를 가지고 있다. 하지만 초기 설계치의 목표인 고유진동수(15 kHz 이상)와 서보 주파수 대역(2 kHz 이상)은 각각 18.5 kHz와 2.21 kHz로 측정되어 설계치를 충분히 만족함을 알 수 있었다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 10:1 이상의 고풍상비를 가지는 정전형 빔 모양의 마이크로 구조물인 금속층이 집적화된 20  $\mu$ m SOI를 이용한 TFMA 제작 공정을 확립하였다. TFMA위에 선폭 2  $\mu$ m의 금속 신호선을 형성할 수 있는 금속 재료를 선택하였고 패턴 형성 공정을 개발하였다. 하드 마스크로 쓰인 TEOS 산화막의 정확한 패턴을 위한 사진 식각 공정과 구조물 위의 신호선으로 사용 가능한 금속으로 Mo를 선택하였으며 희생층인 산화막의 식각에는 7:1 BHF 용액을 사용하였다. 구동 실험 및 측정 결과 finger gap이 2.2 $\mu$ m, flexure 넓이가 2.2 $\mu$ m인 TFMA의 경우 18.529 kHz의 공진 주파수를 가지며 30 V에서 1.4 $\mu$ m 정도 변위를 가짐을 측정할 수 있었다. 또한 서보 주파수 대역이 2.21 kHz 에서 7.51 dB의 이득여유와 50.98의 위상여유를 보였다. 여기서 개발된 트랙 추적용 마이크로 액추에이터는 서보 주파수 대역이 2 kHz이상인 1  $\mu$ m의 트랙 폭과 0.1  $\mu$ m 트랙 킹 정확도를 가지는 차세대 10 Gb/in<sup>2</sup>의 기록밀도를 요구하는 하드디스크 드라이브에 장착될 수 있을 것이다.

#### 감사의 글

이 연구는 과학기술부와 산업자원부가 주관하는 초소형 정밀기계 선도기술개발사업의 연구비(과제번호 96R04) 지원에 의한 것이며 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

[1] Long-Sheng Fan, Hal H. Ottesen, Timothy C. Reley, and Roger W. Wood, "Magnetic Recording Head Positioning at Very High Track Densities Using a Microactuator-Based, Two-Stage Servo System", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol 42, No 3, June 1995, pp222-233.

[2] D. A. Horsely, M. B. Cohn, A. Singh, R. Horowitz, and A. P. Pisano, "Design and Fabrication of an angular Microactuator for magnetic Disk Drives", J. MEMS, Vol. 7, No 2,

- June 1998, pp141-14.
- [3] L-S Fan, L. H. Lane, N. Robertson, L. Crawforth, M.A. Moser, T. C. Reiley, W. Imano, "Batched-fabricated milli-actuators", Proc. IEEE MEMS workshop, Fort Lauderdale, Florida, USA, pp179-183, Feb. 1993.
- [4] 김준동 외, "고집적 초소형 HDD 개발", 대우고등기술원, 최종(단계)보고서, 1998.10
- [5] T. Hirano, L. Fan, J. Q. Gao, and W. Y. Lee, "MEMS Miliactuator for Hard-Disk-Drive Tracking Servo", J. MEMS, Vol. 7, No 2, June 1998, pp149-155.
- [6] K. Takaiishi et al., "Microactuator Control for Disk Drive", IEEE Trans. Magn., Vol. 32, No. 3 pt.2, pp1863-1866, 1996.
- [7] S. Koganezawa et al., "Development of an integrated piggyback milli-actuator for high density magnetic recording", in Ref. 2.
- [8] K. Mori, T. Munemoto, H. Otsuki, Y. Yamaguchi, K. Akagi, "A Dual-Stage Magnetic Disk Actuator Using A Piezoelectric Device for A High Track Density", IEEE Transactions on Magnetics, Vol 27, No 6, November 1991, pp5298-5300.
- [9] T. Hirano, T. Furuhashi, K. T. Gabriel, and H. Fujita, "Design, Fabrication and Operation of Submicron Gap Comb-Drive Microactuator", J. MEMS, Vol. 1, No. 1, March 1992, pp52-59.
- [10] Bong-Hwan Kim, Chang-Hoon Oh, Kukjin Chun, Taek-Dong Chung, Jang-Woong Byun, and Yoon-Sik Lee, "A NEW CLASS OF SURFACE MODIFIERS FOR STICTION REDUCTION", Proc. in 12th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems(MEMS'99), Orlando, Florida, USA, January 1999, pp189-193.
- [11] J. K. Bhardwaj and H. Ashraf, "Advanced silicon etching using high density plasmas," Proc. SPIE, Texas, USA, October 1995, Vol. 2639, pp. 224-233.
- [12] J.F.L. Goosen, et al, "Problems of sacrificial etching in the presence of aluminium interconnect", Sensors and Actuators A 62, 1997, pp692-697.
- [13] Johannes Buhler, et al, "Electrostatic Aluminum Micromirrors Using Double-Pass Metallization", J. MEMS, Vol. 6, No. 2, June, 1997, pp126-135.

## 저 자 소 개



金 奉 煥(正會員)

1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학사. 1999년 2월 : 서울대학교 전기공학부 공학석사. 1999년 3월~현재 : 서울대학교 전기공학부 박사 과정. 주관심 분야 : Anti-stiction, Hard Disk Drive용 second

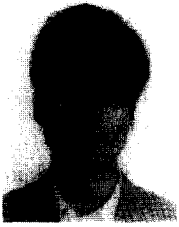
actuator, Silicon direct bonding, MEMS sensor



全 國 鎭(正會員)

1977년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학사. 1981년 8월 : University of Michigan 공학석사. 1986년 5월 : University of Michigan 공학박사. 1986~1989년 : 워싱턴

주립대 조교수. 1989~1994년 : 서울대학교 전자공학과 조교수. 1994년 현재 : 서울대학교 전기공학부 부교수, 교수. 1997년 현재 : 서울대학교 마이크로시스템기술센터 센터장. (사)한국센서학회 이사. 공업기반기술사업 기획평가단 위원. Journal of Micro-mechanics and Microengineering Associate Editor. 주관심 분야 : Sensor, E-beam lithography, RFMEMS, BioMEMS



成 又 慶(正會員)

1986-1990 서울대학교 무기재료공학과 학사. 1990-1992 서울대학교 무기재료공학과 석사. 1992-1995 대우전자 중앙연구소 주임연구원. 1995-1999 고등기술연구원 전자재료연구실 선임연구원. 1998-현재 아주

대학교 분자과학기술학과 박사과정. 주관심 분야 : Hard disk dirve, Microactuator



李 曉 政(正會員)

현재 : 아주대학교 분자과학기술학과 박사과정. (주)네스 OELD팀 소속. 주관심 분야 : 유기 EL, Microactuator