

MEMS 공정을 이용한 탐침형 정보저장장치 제어용 초정밀 구동기 제작

*조진우, 이경일, 김성현, 최영진
전자부품연구원

Ultra precise actuator fabrication for probe-based data storage by MEMS process

*Cho Jin-Woo, Lee Kyung-II, Kim Sung-Hyun, Young Jin Cho
KETI(Korea Electronics Technology Institute)

Abstract - 전자기력을 이용하여 탐침형 정보저장장치의 미디어를 제어할 수 있는 초정밀 구동기를 제작하였다. 탐침형 정보저장장치는 데이터 비트의 크기가 10nm 수준이고, 단일 캔틸레버가 점유하는 영역의 크기가 수십 μm \times 수십 μm 수준이므로, 미디어 구동기는 수 nm의 위치 정확도 및 수십 μm 수준의 변위 그리고 100Hz 이상의 공진 주파수를 확보하여야 한다. 본 연구에서 제작한 탐침형 정보저장장치의 미디어 구동기는 고저항 Si wafer 표면을 Deep RIE로 patterning한 후 그 내부를 도금으로 채워 구리 코일을 형성하고 이를 영구자석과 결합시킨 후, 구리 코일에 전류를 흘려 미디어를 구동하는 방식이다. 사용된 영구자석은 SmCo 자석이며 코일의 폭은 100 μm 이고 간격은 20 μm , 높이는 70 μm 로 결정하였으며, 100Hz 이상의 공진 주파수를 확보하기 위하여 스프링 재질은 구리보다 상대적으로 stiff한 Si를 사용하였다. 미디어의 크기는 20 \times 20mm, 전체 구동기의 크기는 30 \times 30mm이며 측정결과 최대변위는 140mA 인가 시 약 $\pm 127\mu\text{m}$ 이다.

1. 서 론

개인 정보 사용량이 폭발적으로 증가하고 있는 최근의 추세로 볼 때 정보저장장치의 고밀도화 및 소형화에 대한 요구가 더욱 커지고 있다. 탐침형 정보저장장치는 나노미터 영역의 날카로운 탐침과 기록매체간의 물리적 상호 작용력을 이용하여 정보를 기록 및 재생하는 정보저장장치이다. AFM의 작동 방식을 응용하고 있는 탐침형 정보저장장치는 크게 정보를 인식하는 탐침부, 정보가 기록 또는 재생되는 미디어부 및 미디어부를 구동하여 탐침부와 정확한 위치 정밀도를 갖도록 제어하는 구동부로 이루어져 있다. 전체 시스템의 핵심 부품은 마이크로머시닝 기술을 이용하여 대량 제작이 가능하므로 고밀도화, 소형화, 저전력화, 저가격화가 가능하다는 점에서 정보저장장치의 새로운 장을 열 수 있는 기술이다. [1] 탐침부 단일 헤드로 이루어진 경우에는 적절한 정보의 기록/재생 속도를 만족하기 어려우므로, 다수의 캔틸레버를 병렬로 사용하게 된다. 이 경우 일반적인 스피ن들 모터를 사용하여 기록미디어를 회전시키는 기존의 회전식 구동기는 적용이 어렵다. 따라서 이를 해결하기 위해서는 2차원으로 미디어를 구동할 수 있는 구동기의 채용이 필수적이다. [2], [3] 본 논문은 전자기력을 이용하여 미디어를 구동할 수 있는 탐침형 정보저장장치용 미디어 구동기 제작에 관한 것이다. 전자기력을 이용한 미디어 구동기는 도금을 통해 구리 코일을 형성하고 이를 영구자석과 결합시킨 후, 구리 코일에 전류를 흘려 미디어를 구동하는 방식이다. 탐침형 정보저장장치는 데이터 비트의 크기가 10nm 수준이고, 단일 캔틸레버가 점유하는 영역의 크기가 수십 μm \times 수십 μm 수준이므로, 미디어 구동기는 수 nm의 위치 정확도 및 수십 μm 수준의 변위가 가능하여야 한다. 또한, 기존의 일반적인 마이크로머시닝 기술에서는 무시될 수 있었던 온도변화에 의한 미세한 열팽창 변형 역시 탐침형 정보저장장치에서는 간과할 수

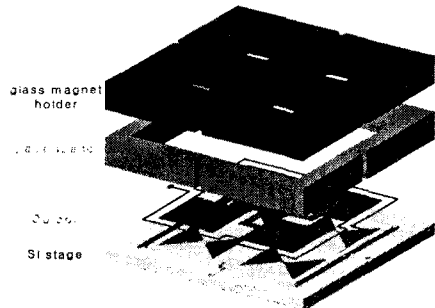
없는 중요한 요소이다. 기존의 전자기력을 이용한 구동기는 Cu 도금으로 코일부 및 스프링 부를 형성하였다. 그러나 탐침형 정보저장장치에 미디어 구동기가 실질적으로 적용되기 위해서는 온도 변화에 대한 변형이 없고 응답 주파수가 100Hz 이상 이어야하며 중력에 의한 처짐 정도 역시 고려되어야 한다. 이러한 여러 가지 제한 요소를 고려할 때 기존의 Cu 도금으로 형성된 스프링부는 적용이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 실질적인 미디어 구동기의 필요조건을 충족할 수 있는 구조로서 Si 스프링을 사용하였으며 작동 시 온도 변화를 최소화 할 수 있는 구조로 새롭게 설계하였다.

2. 본 론

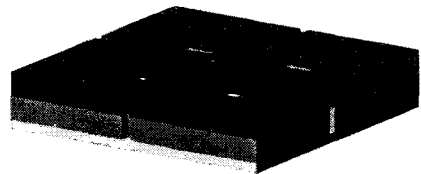
2.1 미디어 구동기 작동원리 및 구조해석

2.1.1 작동원리 및 구조

영구 자석 위에 coil을 놓고 전류를 흘리면 Lorentz 힘을 받게 되는데 이를 이용하여 moving part를 움직일 수 있다. 그림1은 본 연구에서 디자인한 전자기력 미디어 구동기의 구조를 보여주고 있다.



a) 미디어 구동기의 구조



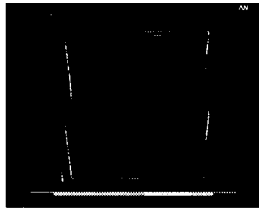
b) 조립된 미디어 구동기의 외형

Fig. 1 미디어 구동기의 구조 및 외형

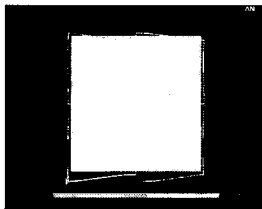
2.1.2 구조해석

미디어 구동기의 성능을 좌우하는 핵심 part인 스프링

부의 스프링 상수 k 값을 결정하기 위하여 상용유한요소 해석 도구인 ANSYS 5.3을 이용하여 Static Analysis를 수행한 결과 spring의 재질은 Si으로 결정하였으며 해석 결과, 폭 $145 \pm 2 \mu\text{m}$ 에서 최대변위는 약 $54 \mu\text{m}$ 이고 공진주파수는 118Hz임을 알 수 있었다. 그림 2는 미디어 구동기 작동 시 예상되는 구조해석 결과를 보여 주고 있다. 그러나 이러한 스프링 구조에서는 중력에 의한 처짐이 약 $11 \mu\text{m}$ 발생하며 $54 \mu\text{m}$ 변위 시 X-Y축 간섭이 안쪽(미디어 장착부)에서 약 20 nm, stage 외곽에서 약 40nm가 발생할 것을 예상된다. 따라서 본 연구에서는 미디어 구동기 작동 시 이러한 구동오차를 극복하기 위하여 최종적으로 Si 스프링의 폭을 $165 \mu\text{m}$, 두께를 $390 \mu\text{m}$ 로 결정하였다.



a) static analysis
최대 변위 : 약 54 μm
구동력 : 17.7 mN



b) modal analysis
1st resonance : 118 Hz

Fig. 2 미디어 구동기의 구조해석

2.1.3 자기장 해석

전자기력을 이용한 미디어 구동기에 있어 구동력을 결정하는 주요 인자는 자기장 세기 및 자기장 분포에 따른 Cu coil의 배열이라 할 수 있다. SmCo 자석을 사용하였으며 구동력을 예측하기 위하여 영구자석의 근사 거리에 Cu coil이 충분히 조밀하게 배열되어 있다는 가정 하에 평균 자기장을 통한 근사해석을 하였다. 해석 결과는 자석의 두께 및 거리에 따른 자기장 세기 변화는 표 1에 나타내었으며 사용된 SmCo 자석의 두께는 3mm이다.

Table 1 자석 두께 및 거리에 따른 자기력 변화 (단위 : Tesla, $M_r = 1\text{T}$ 인 경우)

거리(mm)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
자석 두께(mm)					
0.5	0.147	0.109	0.085	0.068	0.055
1.0	0.223	0.170	0.135	0.109	0.090
1.5	0.266	0.209	0.167	0.137	0.113
2.0	0.298	0.233	0.188	0.155	0.129
2.5	0.318	0.250	0.203	0.168	0.141
3.0	0.332	0.263	0.214	0.177	0.149

2.2 제작공정 및 결과

고 저항 Si wafer 표면을 PR로 패터닝 한 후 DRIE 공정으로 $70 \mu\text{m}$ 깊이로 식각하였다. 식각된 고 저항 Si wafer의 표면에 Cu coil 도금 후 표면을 CMP 하였다.

그림 3은 미디어 구동기를 제작하기 위하여 사용된 전체 공정을 보여주고 있다.

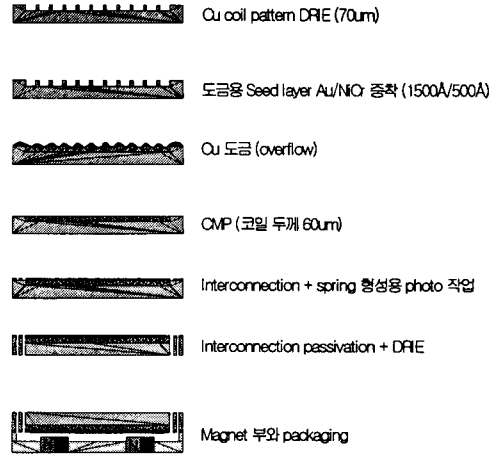
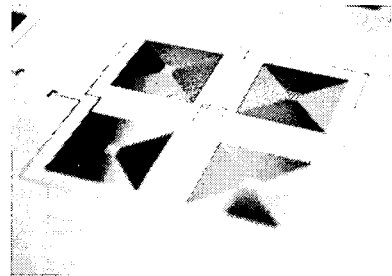
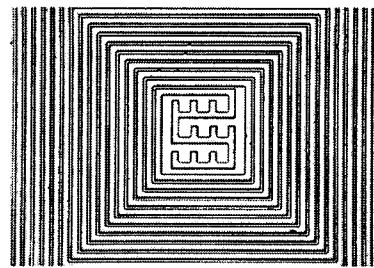


Fig. 3 process flowchart

표면 저항이 $2,000 \Omega$ 이상인 Si wafer를 선택하여 TTV가 $\pm 1.0 \mu\text{m}$ 이하가 되도록 $400 \mu\text{m}$ 두께로 양면을 CMP하였다. 준비된 고 저항 Si wafer는 cleaning 후 한쪽 면 위에 PR을 patterning하였다. AZ 1512 PR을 사용하였으며 Cu coil을 도금할 trench 폭은 $100 \mu\text{m}$ 로 하였고 coil과 coil 사이 간격은 $20 \mu\text{m}$ 로 patterning 하였다. PR patterning 후 DRIE 공정으로 Si wafer 표면을 $70 \mu\text{m}$ 깊이까지 식각하였다. 그림 4는 PR patterning 후 DRIE로 식각된 Si wafer의 외형 및 내부 구조를 보여주고 있다.



a) DRIE된 Si wafer의 표면



b) DRIE된 Si wafer의 내부구조

Fig. 4 DRIE로 식각된 Si wafer의 외형 및 내부 구조

제작된 Si 구조물은 표면 cleaning 후 Cu 도금을 위한 전도성 layer로서 NiCr(500A)/Au(1500A)를 증착하였다. 바닥 면인 seed layer로부터 Cu를 $80 \mu\text{m}$ 두께로 도금하여 Si 구조물의 trench를 완전히 채울 때까지 overflow시켰다. Cu 도금은 trench 도금 시 seam 현상에 의한 도금 불량을 억제하기 위하여 reverse pulse 방식으로 도

금하였고 이 때 forward 전류와 reverse 전류의 상대 비율은 6:4로 하였다. 그림 5는 Cu 도금 후 Cu coil이 형성된 Si wafer의 표면을 보여준다.

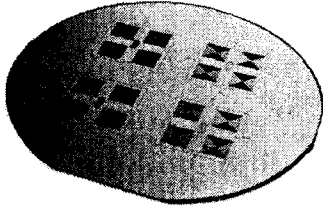


Fig. 5 Cu 도금으로 제작된 coil형상

Cu 도금 후 구조물을 390 μ m 두께가 되도록 표면을 CMP하였다. CMP된 Si wafer는 60 μ m 두께의 Cu coil이 형성되어 있으며 TTV는 $\pm 2\mu$ m이다. Cu CMP 후 Si wafer 표면에 절연층을 형성하였다. 절연층은 negative PR인 SU-8으로 형성하였으며 2차 Si DRIE 공정에서 구조물을 release하기 위하여 전극 부위 및 Si spring 영역이 드러나도록 patterning하였다. Cu coil과 외부 회로와의 interconnection을 위해 screen printing 방법을 이용하여 Silver paste로 전극을 형성하였으며 curing 후 2차 Si DRIE 공정을 이용하여 코일용치 부위를 release 하였다. 그림 6은 interconnection 전극 형성 후 2차 DRIE 공정으로 Si spring이 release된 Cu coil stage부를 보여주고 있다. 제작된 전자기력 미디어 구동기는 Cu coil 영역과 전체 chip의 frame 부위가 Si spring에 의해 hinge 구조로 연결되어 있다.

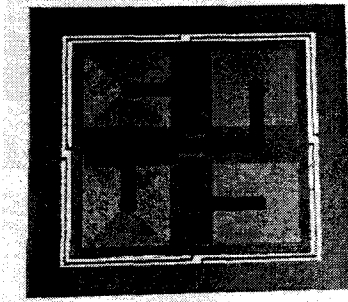


Fig. 6 2차 DRIE 후 release된 Cu coil 구동부

제작된 미디어 구동기의 Cu coil부는 마그네트가 삽입된 구동기 housing에 장착하였다. 그림 7은 마그네트 housing을 보여주고 있다.

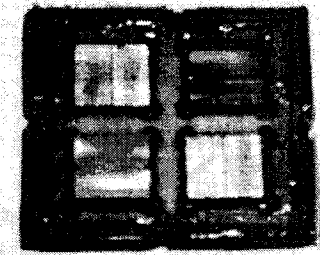


Fig. 7 마그네트 housing

제작된 미디어 구동기는 정전류방식으로 10mA에서 140mA 까지 전류를 인가하며 구동 변위 및 공진주파수를 측정하였다. 그림 8은 인가전류 변화에 대한 미디어 구동기의 구동변위 변화를 보여주고 있다.

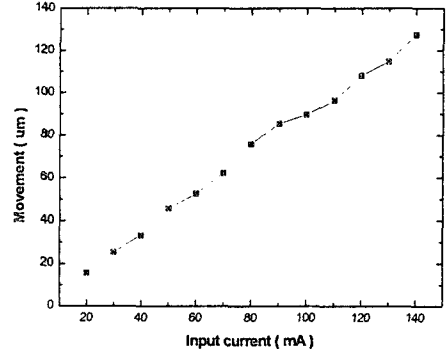


Fig. 8 인가전류 변화에 따른 구동변위 변화

측정 결과에서 알 수 있듯이 제작된 미디어 구동기는 인가 전류변화에 대해 비교적 우수한 선형성을 보여주고 있으며 140mA에서 최대변위는 127 μ m이다. 표 2는 제작된 미디어 구동기의 성능 test 결과를 보여주고 있다.

Table 2 전자기력 미디어 구동기 성능 test 결과

	Electromagnetic actuator
구동범위	127 μ m / 150mA
주사속도	4.0mm/s
구동 전력	0.76W
크기	30mm \times 30mm \times 3.2mm

3. 결 론

이상 MEMS 공정 및 도금공정을 이용하여 전자기력을 이용한 탐침형 정보저장장치의 미디어 구동기를 제작하였다. 제작된 미디어 구동기는 최대변위가 127 μ m, 구동전력이 0.76W이며 선형성 또한 비교적 우수하였다. 그러나, 공진 주파수 측정 결과 40Hz로 구조 해석에서 예측된 값과는 차이가 있었다. 그 원인으로는 Cu coil부와 마그네트 housing 부와의 조립 시 상하 match 불량으로 판단된다. 향후에는 중력에 의한 미디어 구동기 stage부의 처짐 현상 또한 제어하여 실질적으로 탐침형 정보저장장치의 미디어 구동기로 사용할 수 있는 새로운 형태의 구동기를 제작할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] P. Vettiger, M. Despont, U. Drechsler, U. Durig, B. Gotsmann, W.Haberle, M. A. Lantz, H. Rothuizen, R. Stutz, G. Binnig, and H. Rohrer, "The Millipede-Nanotechnology Entering Data Storage", IEEE Trans. on Nanotechnology, Vol. 1, No. 1 pp39 ~ 55, 2002
- [2] S. Hoen, P. Merchant, G. Koke and J. Williams, "Electrostatic Surface Drive : theoretical considerations and fabrication", Transducer 97, Vol. 1, pp41 ~ 44, 1997
- [3] Chris S.B. Lee, Sejin Han and Noel C. MacDonald, "Single Crystal Silicon (SCS) XY-Stage Fabricated by DRIE and IR alignment", MEMS 2000. The Thirteenth Annual International Conference on. pp.28 ~ 33, Jan. 2000.