

고속 유체분사 시스템을 위한 마그네틱 마이크로 액츄에이터 어레이

신규호, 문창렬, 신수호, 김용준*
 삼성전자 종합기술원, *연세대학교 기계공학부

Magnetic Microactuator Array for High Speed Fluid Injection System

Kyu-Ho Shin, Chang-Yul Moon, Su-Ho Shin, Yong-Jun Kim*

Samsung Advanced Institute of Technology, MEMS Lab, Korea

*Yonsei University, School of Mechanical Engineering, Seoul, Korea

Abstract - This paper reports a novel high-speed fluid injection system employing a simple magnetic microractuator. This magnetic microactuator consists of current carrying copper beams and permanent magnet under the beams. There were many efforts to magnetic microactuator realization using conducting coils[1-2]. Even though many of magnetic microactuators were successfully fabricated and tested, it is true that most them suffer complex fabrication processes and thus higher production costs than electrostatic counterparts. In this research, efforts were concentrated on the microactuator realization that has simple structure, low production cost, and mass production possibility.

1. 서 론

유체를 분사하기 위한 방법으로는 열을 이용하는 방법과 Piezo를 이용한 방법, 정전력(Electrostatic) 혹은 형상기억합금(Shape Memory Alloy)를 이용하였으나 열을 이용하여 유체를 가열하는 방법은 유체의 성질을 변화시켜 Bio 및 Ink Jet등에 사용이 제한적이며 Piezo를 이용한 방법은 그 구조가 복잡하여 장치가 고가이며 또한 정전력을 이용한 방법은 유체를 분사시키기 위하여 크기가 상대적으로 커서 사용이 극히 제한적이다. 그리고 형상기억합금을 이용한 유체분사장치는 구동속도가 느리므로 고속의 유체분사장치에는 적합하지 않다. 그러므로 유체분사장치의 구비 조건은 다음과 같다.
 - 유체의 성질을 변화시키거나 혹은 유체에 의하여 분사장치가 손상되지 않을 것.
 -구조가 간단하여 제작 비용이 저렴할 것.
 -반도체공정을 이용한 대량생산 가능 할 것.
 그러므로 본 연구에서는 상기의 조건에 부합하기 위하여 전자기력을 이용한 고속의 유체분사장치를 MEMS 공정을 이용하여 구현 하였으며 그 동적 거동특성 및 유체 분사 특성을 측정,분석 하였다.

2. 본 론

2.1 Principle of Magnetic Actuator

그림 1.은 Lorentz's force의 기본 개념을 표시하였으며 이를 이용한 Magnetic Actuator의 기본개념을 나타 내었다. 영구자석위에 MEMS 공정을 이용하여 Si Substrate위에 구리 전극을 제작하였으며 두 개의 구리 전극이 전류의 방향에 따라 화살표 방향으로 움직이는 구조이다. 즉 구리 전극이 서로 마주하는 방향으로 작용하면 유체내의 압력을 상승시켜 유체를 토출시킬 수 있게 되고 반대 방향으로 작용하면 "suction"에 의한 유체의 유입력이 작용하게 된다.

2.2 Actuator Design Process

유체 분사장치의 설계시 고려사항은 전자기력(Electromagnetic Force)와 구리도체의 Beam deflection 및 동적거동(Dynamic response) 그리고 유체의 압력변화와 유체 토출시의 토출 속도, 토출량을 함께 고려해야 한다.

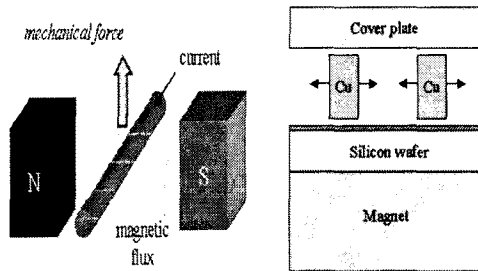
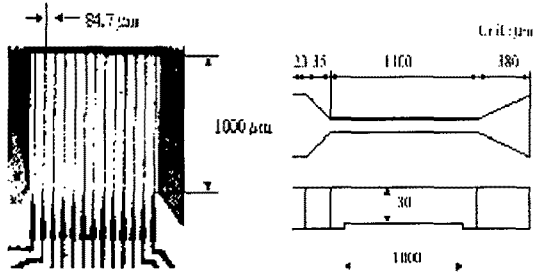


그림1. Principles of Magnetic Actuator (a)Lorentz's Force (b)Magnetic Actuator

구리도체의 변위 거동 및 토출 유체의 체적은 1D steady deflection model을 적용하였으며 유체토출에 필요한 전자기력 $F_{electromagnetic}$ 은 다음과 같다.
 $F_{electromagnetic} > F_{deflection} + F_{flow} (=F_{viscos} + F_{inertia} + F_{surface\ tension} + F_{gap\ loss} + \dots)$

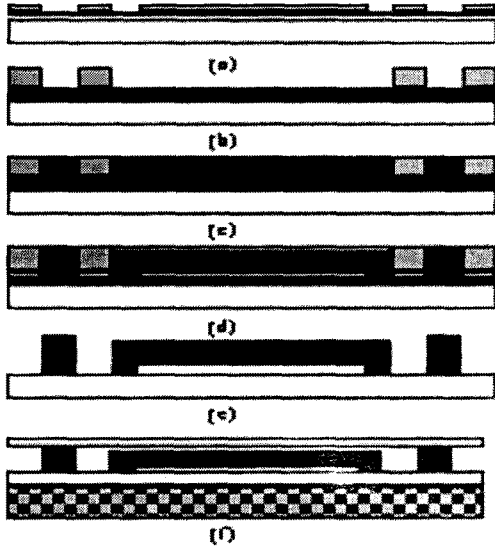
2.3 Design of Ink Jet Head Sample

현재 상용화되고 있는 Ink Jet Head는 600dpi(dot per inch)의 Resolution이 주종을 이루고 있다. 600dpi를 만족시키기 위해서는 84.7um의 pitch를 만족 시켜야 하고 Ink Droplet의 Size 또한 10pl가 되어야 한다. 이상의 조건을 만족시키기 위한 구리 도체의 dimension은 다음과 같다.
 length : 1000um, width : 9um, Height : 30um
 Gap Size < 1.5um

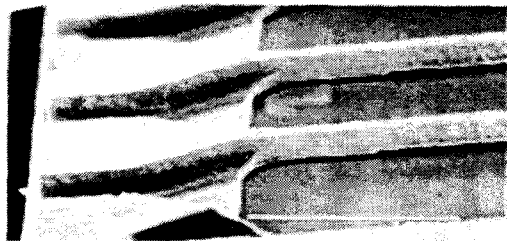


2.4 Manufacturing Process

제조 공정은 일반적인 Surface Micromachining공정을 이용하였으며 희생층(Sacrificial Layer)를 이용하여 Beam의 거동시 Friction을 방지하기 위한 Gap을 제작 하였다.



실리콘 웨이퍼위에 5000Å의 산화막을 증착한 후 하부 희생층으로 사용할 Al을 1.5µm를 sputtering으로 증착한 후 이를 patterning 하였다. 그 위에 Electroplating 하기 위한 seed layer로 Cr/Cu를 sputtering 하였으며 common ground를 형성 하였다. 그 위에 AZ9262를 이용하여 Electroplating하기 위한 틀을 제작하였으며 전기도금을 이용한 Cu Electrode를 제작 하였다. 도금과정에서 전류밀도차에 의한 도금층의 두께 불균일을 해소하기 위한 평탄화 공정으로 DTM(Diamond Turning Machine)을 이용한 평탄화 작업을 시행 한후 도금틀로 사용된 PR을 제거 하였다. 그후 Seed Layer인 Cr/Cu층을 Etching하였으며 최종적으로 하부 Gap을 형성하기 위한 Si층 (sacrificial Layer)를 제거하여 electrode beam을 완성 하였다. 그 위에 유체를 sealing하기 위한 glass를 UV Curiable adhesive를 이용하여 접합하였으며 상부 gap 1.5µm를 유지하기 위하여 1.5µm용 spacer를 사용하였다.

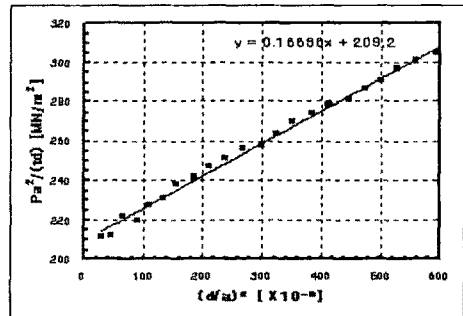


2.5 측정

2.5.1 Mechanical Properties of Cu Film

Beam Deflection 설계시 Cu Beam의 Young's Modulus 및 Residual Stress등의 물성치를 파악하기

위하여 Load Deflection Method(Blister Test)를 이용하여 표1.에서와 같이 Young Modulus는 60.9GPa 그리고 Residual Stress는 61.4MPa의 값을 얻었다.

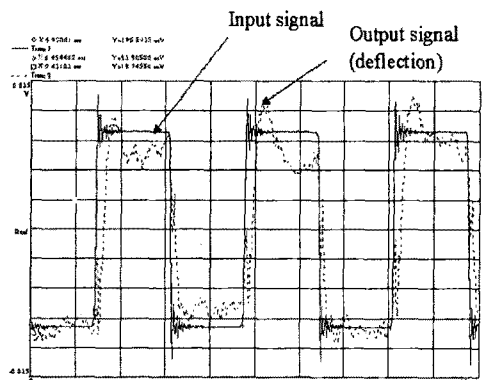


2.5.2 Measurement of Beam Deflection

Beam의 Deflection 에 대한 동특성을 파악하기 위하여 특별히 고안된 System을 사용하였는데 이는 폭 10µm, 변위 약 5µm의 주파수 10kHz로 거동하는 물체의 동특성을 파악하기 위한 장비가 구비되어 있지 않았으므로 CD Pick-up Unit(Spot Size:1.6µm)을 이용하여 측정 하였다.

그림5.에서와 같이 10kHz에서 Input Signal에 대한 Beam의 추종성을 확인하였다.

Beam의 공진 주파수는 그림 6.에서와 같이 매질이 공기일 때 Beam Width가 작을수록 증가하고(6.3µm일 때 35kHz) Beam의 Length가 짧을수록 증가 하였다 (1000µm일 때 34kHz)또한 매질이 유체(물)일때는 특별히 공진대역을 확인하기 어려웠으나 설계치인 10kHz에서의 변위는 Beam Width가 9.2µm일 때 약 17µm정도로 측정 되었다. 이 유체분사 장치를 이용하여 Ink를 토출 시킨 결과 그림 7.에서와 같이 7khz에서 약 85µm의 Ink Droplet Size를 얻었다.



사용된 Ink는 점도 2.3cP, 표면장력 43mN/cm의 Cyan Color를 사용 하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] I. J. Busch-Vishniac, "The case for magnetically driven microactuators", Sensors and Actuators, p. 207-220, 1992
- [2] C. H. Ahn, Y. J. Kim and M. G. Allen, "A Planar variable reluctance magnetic micromotor with fully integrated stator and coils", IEEE J. MEMS, 165-173, Dec. 1993
- [3] Mark G. Allen, Mehran Mehregany, Roger T. Howe and Stephen D. Senturia, "Microfabricated Structures for the in site measurement of residual stress, Young's modulus, and ultimate strain of thin films", Appl. Phys. Lett., 51 pp.241-243, Jul. 1987

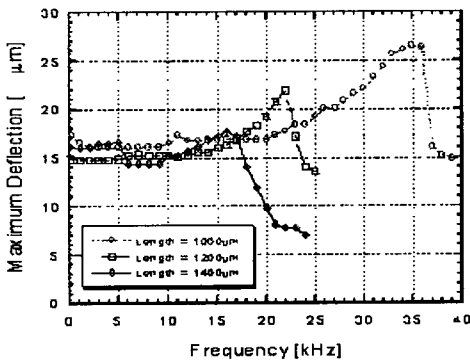
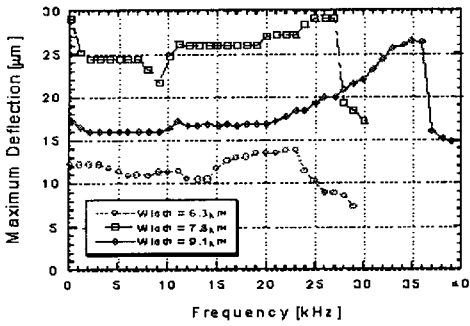
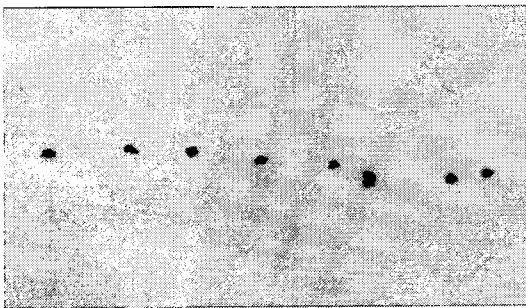


그림 6. Beam Deflection in Air



3. 결 론

본 연구에서는 Electromagnetic Force를 이용한 고속 응답특성의 유체분사장치를 Cu Beam을 Electro Plating 공정으로 제작하였다. 10kHz의 높은 주파수 응답성을 확인 하였으며 고속의 Beam 거동을 확인 하기 위하여 CD Pick-up Unit을 이용한 측정 장비를 새롭게 제안하여 이를 이용한 주파수 응답 특성을 확인 할 수 있었다. 또한 설계시 필요한 Cu Beam의 Mechanical Property는 Bulk Material값과 상이하므로 이를 Blister Method를 이용하여 측정한 결과 일 반적인 Cu의 Young's Modulus가 110GPa인 반면 Electro Plating한 Cu의 Young's Modulus는 약 60.9GPa로 측정 되었다. 이를 다시 설계에 대입하여 필 요 유체 토출량에 따른 Beam의 Dimension을 새롭게 정 의 할 수 있었다.