

초소형 분석시스템 구현을 위한 초소형 전기기계시스템 기술(MEMS) (1)

21세기 들어 분석장치의 초소형화를 구현하기 위한 움직임들이 활발하게 일어나고 있다. 초소형 분석장치는 복잡한 임상진단실험을 단순, 소형화하여, 분석시간의 현저한 단축을 실현하여 궁극적으로는 벌키(bulky)한 실험실 분석기법을 완전 대체할 수 있을 것으로 기대된다. 현재, 가장 유망한 초소형 타입 분석기술로 LOC(Lab-On-a-Chip)기술이 대두되고 있다. 이는 유리, 실리콘, 또는 플라스틱으로 된 수 cm^2 크기의 chip위에 분석에 필요한 여러 가지 장치(예: 마이크로 센서, 미세유로, Mixer, 등)들이 집적된 초소형 화학 프로세서이다[1].

이러한 LOC 기술은 세포 수준에서 독성물질에 대한 반응정도를 검출할 수 있을 뿐만 아니라 살아있는 세포의 실시간 반응을 통해 기존의 방법으로는 측정하지 못하는 복잡한 생리신호를 검출할 수 있는 가능성을 제시할 수 있다. 이에 따라, 세포수준에서 생리활성 물질을 스크리닝 할 수 있어 궁극적으로는 임상에서의 현장진단(Point-of-care diagnosis), 동물실험 대체용 *in vitro* 스크리닝 기술 개발과 신약후보물질에 대한 대량검색(High Throughput Screening, HTS)등이 가능하다. 최근 연구 동향이 기존의 분석도구와는 분명한 차별성을 가지는 제품의 소형화, 편의성, 정확성, 신뢰성 등을 부여하기 위한 노력이 강조되고 있기 때문에, 반도체 일괄가공기술에 사용되고 있는 미세가공기술(Micro-Electro-Mechanical Systems; MEMS)이 LOC를 구현하기 위해 적합한 기술로 사료되며, 인터넷 등 정보통신기술과 연계되어 미래의 정보화시대에 핵심 기술의 지위를 차지할 것으로 기대된다.



그림 1. MEMS기술로 구현된 초소형 분석기기의 예

MEMS기술로 구현된 구조물은 작고 가벼운 구조로 인해 높은 주파수 특성을 가져 이에 따른 제어와 조작성이 개선되며, 다수성을 가져 부품생산성이 높아지고, 원가절감을 할 수 있을 뿐만 아니라, 지능이 부여된, 다시 말해 모터, 센서, 논리회로등이 하나의 기판위에 융합된 closed loop제어 시스템을 구성할 수 있다.

이러한 MEMS 기술은 1960년대 초 실리콘 가공기술에서 시작되었다. 최초의 연구는 실리콘 기판상에서 미세 기계요소 즉, 벨브, 모터 펌프, 기어 등의 부품을 2차원 평면으로 제작한 것을 시초로 하여, 마이크로 센서의 수요 확대에 힘입어 실리콘 기판위에 압력센서, 가속도 센서등과 신호처리용 집적회로, 그리고 센서에 의해서 제어가 가능한 마이크로 액추에이터를 집적화하여 인텔리전트 시스템을 구현하려는 의도로부터 출발하였다. 이후, 1970년대에는 이방성 에칭을 이용한 여러 가지 device가 연구되었고, 이를 이용한 3차원 구조를 가진 광학 디바이스, 잉크젯, 홀로그래피 등이 연구되었다. 이처럼 반도체 기판자체를 에칭하여 3차원 구조를 제작하는 것을 마이크로 머시닝이라 하고 bulk-machining이라고 부른다.

1980년대 이후 surface micro-machining기술로 기판을 손대지 않고, 기판위에 증착된 희생박막을 에칭해서 박막으로된 3차원 구조물을 만들게 되었다. 현재 LIGA기술 (X-ray lithography(x-ray Lithographie)공정, 도금(Galvanoformung)공정, 주형(Abformtechnik)공정을 사용하는 전체 공정을 지칭하며, 각 공정의 독일어 약어를 조합하여 “LIGA” 라는 용어를 사용) 등 여러 가지 응용기술이 개발되어 센서, 논리회로 및 액추에이터가 집적화된 형태로 발전되고 있다.

이와 같이 제시된 반도체 공정, 특히 집적회로 기술을 응용한 마이크로머시닝 기술을 이용하여 μm 단위의 초소형 센서나 액추에이터 및 전기 기계적 구조물을 제작 실험하는데 마이크로 머시닝 기술에 의하여 제작된 미세 기계는 mm이하의 크기 및 μm 이하의 정밀도를 구현할 수 있다. 마이크로 머시닝 기술의 장점은 초정밀 미세 가공을 통하여 소형화, 고성능화, 다기능화, 집적화가 가능하며 안전성 및 신뢰성을 향상시킬 수 있다는 것이다.

MEMS를 이용하여 구조물을 만드는 제조기술은 실리콘기판 자체를 습식 식각기술등을 이용하여 pin, hole등의 미세 구조물을 만드는 기판 미세가공기술 (bulk micromachining), 실리콘 기판 상에 박막층을 증착한 다음 선택적인 식각기술로 구조물을 만드는 표면 미세 가공기술(surface micromachining) 및 초단파장의 X-ray 리소그래피를 이용한 LIGA기술 등으로 나눌 수 있는데 요구되는 센서의 특성에 따라 적합한 제조공정을 선택하여야 한다.

본 고에서는 이러한 MEMS기술을 2편으로 나누어 1편에서는 기판 마이크로머시닝 가공기술에 대해 서술하고, 2편에서는 표면 마이크로머시닝 기술과 LIGA기법에 대해 다룬다.

● 기판 마이크로머시닝 가공기술 (Bulk micro-machining technology)

기판 마이크로 머시닝 기술은 1960년대 초 미국의 Bell Laboratory에서 처음 개발한 미세 가공기술로서, MEMS 구조물 제작시 가장 중심이 되는 기술로 인식되고 있다. 기판

마이크로 머시닝 기술은 KOH(Potassium hydroxide), EDP(Ethylendiaminepyrocatechol), TMAH(Tetramethyl ammonium hydroxide, $N(CH_3)_4OH$)등과 같은 화학적 식각 (Chemical Etching)을 이용하여 기판(Substrate)자체를 가공함으로써 미세 기계구조물을 만드는 것이다. 여기에서 사용되는 화학적 식각 방법에는 결정면 방향에 상관없이 균일한 에칭특성을 보이는 등방성 식각(isotropic etching)이나 기판 재질의 결정면 방향에 따라 에칭특성이 다른 이방성 식각(anisotropic etching)에 그 기초를 두고 있다.

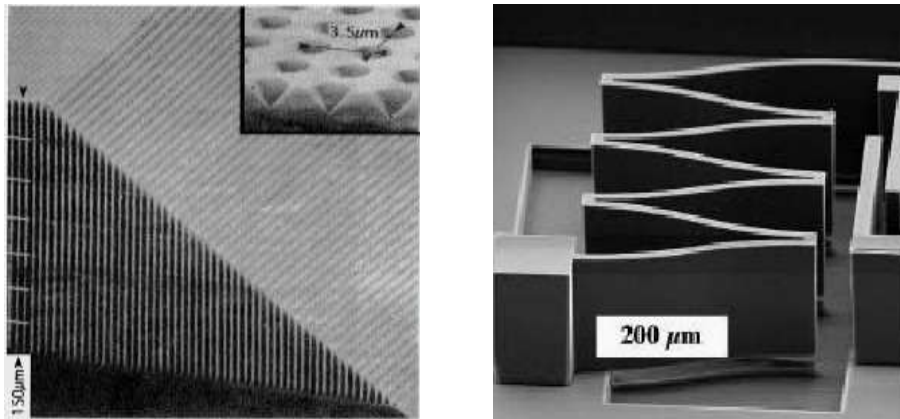


그림 2. Bulk Micro-machining기법에 의해 제작된 3차원 구조물

실리콘 식각의 기본이 되는 이방성 식각 용액의 일반적인 요구 조건으로는 이방성, 큰 선택비, 취급상의 용이성, 공정예의 적합성등이 있다. 이 중에서도 공정예의 적합성은 센서와 액추에이터가 동일한 칩 위의 고집적화 회로와 함께 이용되어야 하기 때문에 최근들어 그 중요성이 가장 크다고 할 수 있다[2,3]. 과거에는 이방성 실리콘 식각 용액으로는 EDP, Hydrazine, KOH등이 널리 사용되어 왔다. 그러나, EDP나 hydrazine을 사용하면 비교적 식각속도는 빠르나 독성으로 인해 안전상의 문제가 있어 취급이 까다롭다는 어려움을 가지고 있다. 반면에 KOH는 비교적 안전하고 식각속도가 빠르며 식각된 표면이 깨끗하다는 점에서 최근에 가장 널리 사용되고 있다. 하지만 KOH를 사용하면 K^+ 가 이동성 이온으로 작용하여 오염을 초래한다는 것이 문제점으로 보고되고 있다[4]. 그러므로 이방성 실리콘 식각 용액으로 기존에 널리 사용되고 있는 KOH대신에 위에서 중요성이 언급된 고집적화 회로와의 공정상의 적합성이 우수하고 독성이 없으면 특히, hill-lock 없이 양질의 식각 표면을 얻을 수 있다고 보고되고 있는 TMAH용액이 최근들어 많이 사용되고 있다[5]. 기판 마이크로머시닝 기술의 공정도를 아래 그림에 보였다.

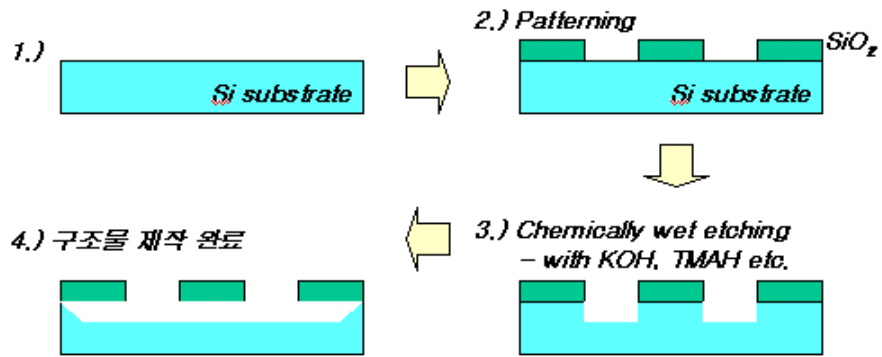


그림 2. 기판 마이크로머시닝 기술의 공정도

식각정도를 조절하는 방법으로는 시간을 조절하여 식각정도를 조절하는 시간조절방법과 내식성이 강한 불순물층이나 전기화학적 접점(junction)을 이용하여 자동적으로 식각이 정지되게 하는 전기화학적 자동식각정지법이 있다.

이와 같은 MEMS기술은 갑자기 출현한 기술이 아니며, 반도체 제조 공정기술의 발달의 산물이다. 또한 MEMS기술은 높은 G (10만 G)이상의 가속도를 측정할 수 있는 관성계 측센서를 구성할 수 있을 뿐만 아니라, 수백만개의 Mirror array를 제작하여 차세대 영상 디스플레이로서도 응용 가능하다. 또한 0.1 psi에서 10,000 psi범위를 갖는 압력센서까지 그 응용은 실로 무궁무진하다.

References

1. <http://www.eurekalert.org>
2. S. Sugiyama, K. Kawahata, M. Yoneda and M. Takigawa, *Sensors & Actuators* **21-23**, 397-400 (1989)
3. M. Suzuki, M. Makino, M. Tanaka, R. Asahi, O. Tabata, S. Sugiyama and M. Takigawa, *Tech. Dig., 9th Sensor Symp.*, 71-74 (1990).
4. A. Merlos, M. Acero, M.H. Bao, J. Bausells and J. Esteve, *Sensors and Actuators*, **37**, 737-743 (1993).
5. O. Tabata, R. Asahi, H. funabashi, K. Shimaoka, and S. Sugiyama, *Sensors and Actuators*, **34**, 51-57