

## 초소형 분석시스템 구현을 위한 초소형 전기기계시스템 기술 (MEMS) (II)

최정우

서강대학교 화학공학과

### ● 표면 마이크로머시닝 가공기술 (Surface micromachining technology)

표면 마이크로머시닝 기술은 원래 집적회로(IC) 제작을 위한 기술로서, 1980년대 UC Berkley에서 미세기계구조물 제작에 도입하여 응용한 이래, 센서를 위한 구조물뿐만 아니라 의료, 수술기, 전자, 통신, 정밀기기, 반도체 제조장비 등 다양한 응용잠재력을 지닌 기술로서 주목받고 있다. 표면 마이크로 머시닝 기술은 기판 마이크로 머시닝 기술과는 달리 기판 자체를 가공하는 것이 아니라, 기판위에 박막소재를 이용하여 미세 구조물을 제작한 후, 기판에서 분리하여, 동적 운동이 가능한 미세 구조물을 제작할 수 있는 기술이다[1]. 따라서 기판은 단순히 박막기계구조물을 지지하는 기초역할만 한다. 표면 마이크로 머시닝 기술은 복잡한 2차원 형상을 만드는데 적합하기 때문에 마이크로 모터, 액추에이터, 가속도 센서 등을 제작하는데 많이 사용된다. 또한 모든 공정이 반도체 공정과 집적화가 가능하기 때문에 대량 일괄 작업이 가능한 장점과, 반도체 공정을 이용하여 목적하는 회로를 같은 기판에 집적화 할 수 있다는 장점을 동시에 지니고 있다[2]. 반도체 회로와 기계소자를 집적화하는 것은 제품의 성능을 향상시키고 단가를 낮출 수 있게 하는 하나의 요인이며, 표면 마이크로머시닝 기술이 최근들어 주목받는 이유중 하나이다. 표면 마이크로 머시닝을 위해 주로 이용되는 기술은 다결정 실리콘 구조층을 형성하기 위한 저압 화학 기상증착법(Low Pressure Chemical Vapor Deposition: PLCVD)과 플라즈마를 이용한 건식식각(Dry etching)기술이다. 저압 화학 기상증착법에 의해 제작된 다결정성 실리콘은 반도체 공정을 그대로 사용할 수 있을 뿐 아니라 다결정 실리콘에 불순물을 주입할 경우 배선 재료와 electrode로도 사용할 수 있다. 또한 습식식각시에 식각마스크, X-ray 마스크용 박막등으로의 응용도 가능하다. 플라즈마를 이용한 건식식각기술은 표면 마이크로 머시닝 기술로 금속 구조물을 제작할 때, 희생층으로 사용되는 폴리머를 선택적으로 제거할 수 있는 기술로서, 사진식각공정에서 사용된 감광제를 제거하는 용도로도 사용가능하다. 이 공정은 시료에 열이 전달되지 않으므로 장시간 식각을 하여도 시료가 열변형을 일으키는 일이 없다는 장점이 있다[3].

이와 같이 표면 마이크로머시닝 기술은 현재 MEMS 제작에 가장 널리 쓰이는 기술이고 미국, 유럽, 일본의 경우 지난 10년간 이 기술이 개발되어 왔다. 우리나라의 경우 1996년부터 이 기술의 체계적인 발전이 이루어져 현재 관련자료의 데이터베이스화가 본격적으로 이루어지고 있다. 그러나  $\mu\text{m}$ 단위의 정밀도를 가진 기계구조물은 기존의 열역학,

고체역학, 유체역학적인 이론들과 부합되지 않는 경우가 발생할 가능성이 있으므로, 표면 마이크로머시닝 기술은 전체시스템을 어떻게 설계하느냐가 기술성공의 기준이 된다. 현재 우리나라를 비롯하여 전세계적으로 이 기술의 실용화에 대한 연구가 매우 활발하게 진행중이고, 향후 Biotechnology와 결합되어 많은 연구과제가 창출될 것으로 기대된다.

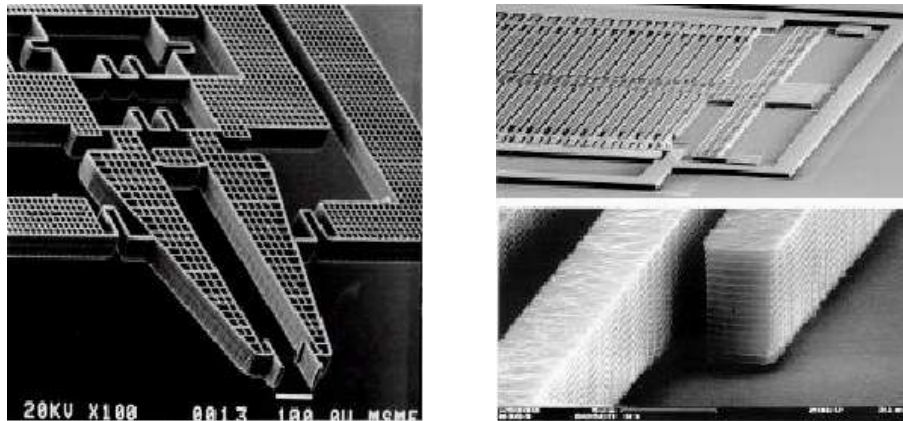


그림 1. Surface Micromachining기법에 의해 제작된 3차원 구조물

#### ● LIGA 가공기술 (LIGA micromachining technology)

앞서 서술한 기관 마이크로머시닝 기술, 또는 표면 마이크로머시닝 기술로 만들어진 미세구조물과 비교하여 높이가 높은 고종횡비(high aspect ratio) 미세구조물의 대량 생산이 가능한 기술로서 LIGA 가공기술이 대두되고 있다. LIGA 가공기술은 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 사용한다[4].

LIGA 가공기술은 포항가속기(PLS)와 같은 방사선 가속기에서 생성되는 수 Å의 파장의 X-선을 이용하기 때문에, 일반 반도체 공정으로는 실현할 수 없는 높고, 광학적 용도까지 가능한 거울정도의 벽면 거칠기(수백 Å이하)를, 그러면서도 서브 마이크론의 정밀도 (1 $\mu$ m이하)를 가지는 금형 및 3차원 구조물을 일괄 가공할 수 있다. LIGA기술은 고종횡비를 얻기 위해 높은 에너지의 X-선 방사광을 사용하여 레지스트(감광재)를 노광하고 현상하는 X-선 lithography공정과 현상된 빈공간을 금속으로 채우고 남아있는 레지스트를 제거하여 독립된 금속 구조물을 제작하는 도금공정, 도금공정으로 만들어진 금속구조물을 정밀주형으로 이용하여 plastic 제품을 만들거나 lost mold를 만드는 주형공정으로 이루어진다. 이러한 LIGA 가공기술은 IC제작 공정인 lithography공정과 전통적인 기계제작의 수단인 도금과 주형공정을 함께 도입하여 사용한다. 또한 LIGA 가공기술은 싱크로트론 방사광의 고에너지 X-선을 사용하므로 싱크로트론방사광을 이용한 미세구조물 가공기술이라고도 한다.



그림 2. LIGA공정에 의해 제작된 3차원 구조물

이러한 LIGA기술을 이용하면 기계가공으로 구현하기 힘든 복잡하고 다양한 형태의 금형 및 3차원 구조물을 금속(Ni, NiFe, NiP, NiCo 등), 세라믹(glass, PZT 등), 폴리머(PMMA, MMA 등)의 다양한 재료로 반도체 공정과 마찬가지로 일괄 양산 방식에 의해 제품의 균일성, 공정단순화, 성능향상을 구현할 수 있다. 특히, 레지스트로 많이 사용되는 PMMA는 뛰어난 광학 특성을 지니고 있어 X-ray 노광만으로 wave guide 등의 최종제품을 만들 수 있다. 또한 두껍고 정밀한 LIGA 구조물은 광섬유를 위한 fiber-chip coupler, fiber ribbon connector 제작에 적합하다. 렌즈, wave guide 등을 시스템화 한 optical bench는 광학센서와 광통신에 응용되고 있으며, 유체시스템과 통합하여 LOC(Lab-On-a-Chip)에 응용되고 있다. 유체시스템에서는 단순한 X-ray 마스크만을 변화시켜 다양한 형태의 두꺼운 마이크로채널을 제작할 수가 있다[5].

LIGA 기술을 이용하여 제작된 정밀 금형은 100:1정도의 높은 종횡비,  $1\mu\text{m}(10^{-6}\text{m})$ 정도의 뛰어난 표면 거칠기로 다른 가공기술에 비하여 10배 이상 정밀하여 초소형 사출 성형 시 발생하는 form-locing 현상이나 이형시 발생하는 문제점을 감소시킬 수 있는 장점을 가지고 있다[6].

이러한 LIGA 가공기술의 응용분야는 크게 기계시스템, 광학시스템, 유체시스템의 세 분야로 나눌 수 있다. 기계시스템에서 정밀하고 두꺼운 LIGA구조물은 센서의 감도를 높일 수가 있고, 액추에이터의 출력을 크게 할 수 있다. Ti이나 Polyimide를 이용한 희생층 공정은 가속도 센서와 mechanical connector 등의 움직이는 구조체의 제작을 가능하게 하였다. 또한 NiFe 등의 자성체 전기도금과 희생층 공정을 이용하여 magnetic relay, magnetic actuator, in-line gear pump 등을 제작할 수 있다. 광학시스템에서의 LIGA 구조물은 뛰어난 정밀도와 50nm이하의 매끈한 벽면을 유지하므로 광학기구에의 적용이 가능하다. 또한 다양한 형태의 마이크로채널을 이용하여 화학분석 공정을 위한 초소형반응기와 유체를 이용한 linear 액추에이터 등이 개발되고 있으며, 유체의 흐름을 제어하기 위한 마이크로 펌프와 마이크로 터빈 등도 개발 진행중이다.

## ● 결론

국제 사회에서 기술과 국가 경쟁력의 연계가 강화되면서 국제기술경쟁이 더욱 치열해질 것이며, 기술과 무역이 국가의 경쟁력을 좌우한다는 것은 주지의 사실이다. 이러한 이유로 첨단기술의 발전속도는 급가속되고 있으며, 기술선진국에서는 국제기술시장에서 자국의 경쟁력 향상을 위해 기동성있는 개술개발의 전략과 패러다임의 변화를 추구하고 있다. 따라서 21세기를 주도할 핵심기술로 모두가 믿어 의심치 않는 Biotechnology, MEMS기술은 기존의 타 첨단기술에 비해 기술의 역사가 짧고, 국가 기간산업중 하나인 반도체기술을 그 기술의 근간으로 하고 있으므로 기술선진국과 대등한 경쟁을 펼칠 수 있는 유망산업으로 예측된다. 제시된 두 기술은 기술적으로는 완성단계에 이르러 벤처참여가 어려워진다고 할 수 있으며, 전체적으로 전망이 밝아 의약품 개발과 프로티오믹스등의 영역에서 필수 기술이 되고 있다.

현재의 기술 및 산업동향으로 판단해 볼 때, 인간의 유전 정보를 측정하기 위한 DNA Chip 기술, 질병진단, 신약개발, 및 환경모니터링에 응용될 수 있는 Protein Chip 기술이 21세기 과학기술 패러다임인 휴대화, 경량화, 지능화, 융합화에 가장 부합하며, 초미세가 공과 수천, 수만개의 샘플을 분석을 고속 또는 효율적으로 수행할 수 있는 LOC기술이 완성품 개발은 물론, 기본적 이론 단계에서 막대한 수익이 예상되는 산업으로서 현재 Biotechnology 산업의 지향점으로 자리 매김하고 있다.

이러한 LOC구현을 가능하게 하는 기술인 MEMS기술 역시 21세기에 산업전반에 걸쳐 엄청난 신규시장을 창출하는 최대 유망산업으로 함께 부상하고 있으며, 각국의 반도체 메모리 분야의 기술경쟁이후 새로운 기술의 격전장이 되어가고 있다. 각종 시스템의 초소형, 고집적화에 따라 가공오차가 큰 종래의 가공 기술의 대체 산업으로 예상되며, 특히 인간의 손이 미칠수 없는 생체의 국부 수술을 위한 초소형 로봇의 개발을 위해 활기차게 연구되고 있다.

## References

1. W. Ehrfeld, D. Munchmeyer, 1991, *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A*, **303**, 523.
2. J. Kaienburf, M. Lutz, B. Maihofer, R. Schellin, 1998, *Proceedings IEEE MEMS'98*, 367.
3. M. Offenber, 1996. *MST-News*, **15**, 4
4. E.W. Becker, W. Ehrfeld, P. Hagmann, A. Maner, D. Mumchmeier, 1984, *Microelectronic Engineering*, **4**, 35.
5. D.W.L. Tolfree, 1998, *Rep. Prog. Phys.* **61**, 313.
6. M.S. Despa, K.W. Kelly, J.R. Collier, 1999, *Microsystems Technologies*, **6**, 60