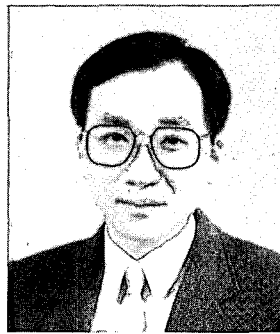


마이크로머시닝 기술현황 및 전망



조영호

한국과학기술원 기계공학과

요약

마이크로머시닝 기술의 특성을 소개하고 관련 기술의 현황과 당면 과제를 조명함과 동시에 향후 발전 방향을 전망한다.

I. 기술배경 및 특성

집적회로 제조기술은 1940년대말 트랜지스터 개발을 기점으로 급속히 발전하여 근래 전자제품의 경박단소화, 고성능화,

표 1. 재료의 기계적 성질비교

재료	성질	탄성계수 [GPa]	밀도 [g/cm ³]	항복응력 [GPa]	Knoop경도 [g/mm ²]	연전도도 [w/cm °C]	열팽창계수 [10 ⁻⁶ /°C]
다이아몬드		1035	3.5	53	7000	20.	1.0
텅스텐		410	19.3	4	485	1.78	4.5
질화실리콘		385	3.1	14	3486	0.19	0.8
스테인레스강		200	7.9	2.1	660	0.33	17.3
철		196	7.8	12.6	400	0.80	12
실리콘		190	2.3	7	850	1.57	2.33
알루미늄		70	2.7	0.17	130	2.36	25.0

가격저렴화를 이룩함으로써 20세기 마이크로 일렉트로닉스 혁명의 원동력이 되었다. 최근 이러한 집적회로 제조기술을 기반으로 미세기계구조물을 가공 할 수 있는 새로운 특수 미세가공기술 - 즉 마이크로머시닝 기술 [1, 2]이 개발되었다.

본문에서 다루고자하는 마이크로머시닝 기술은 노광전사(lithography) [2]를 기반으로 한 것으로, 초정밀 절삭 혹은 소성가공 등 다른 미세가공기술에 비해 가공대상 소재, 가공물의 기하학적 형상, 가공공정 및 응용분야 등이 모두 특이 [3, 4]하다고 할 수 있다. 즉 마이크로머시닝기술은 정자재료 (반도체등)를 화학적 혹은 물리적 식각공정 (etching)으로 가공하여 미소기계구조물을 제작하는 것으로, 미소기계구조물의 크기와 이들간의 간격을 모두 동일한 가공정도하에 제작할 수 있다는 특징이 있다. 우선 소재측면(표 1 참조)에서 볼때, 마이크로머시닝 대상소재로 실리콘을 많이 사용하는데 이는 탄성계수는 철과 비슷하고 밀도는 알루미늄과 비슷하면서 이들 금속에 비해 히스테리시스(hysteresis)가 극히 적다는 장점이 있다. 또한 마이크로머시닝 공정

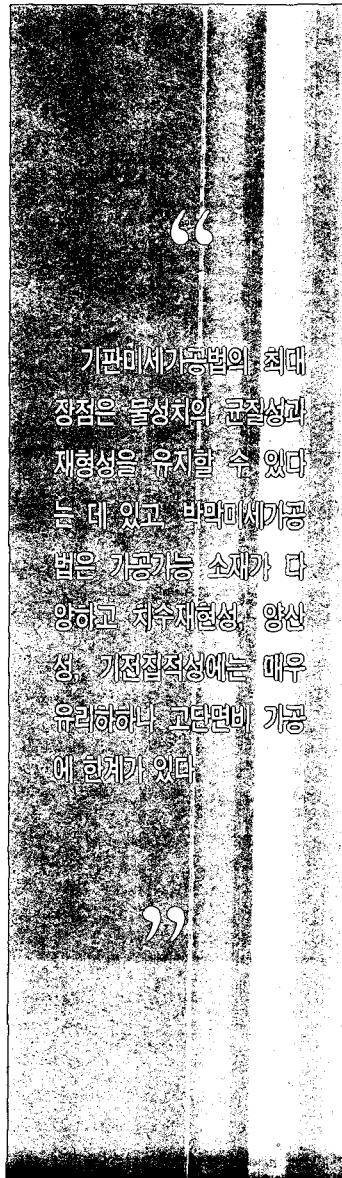
에 의한 식각은 절삭 혹은 소성가공공정의 경우에 비해 가공에 의한 잔류응력 발생이 거의 없다는 잇점이 있다. 이러한 마이크로머시닝 기술은 기계-전자요소의 동시제조를 통해 기계-전자 복합제품의 소형화, 경량화, 다기능화, 고속화, 고신뢰도, 저전력 소모 및 가격의 저렴화를 이룩함으로써 21세기 post-electronics시대를 선도할 핵심 기술로 주목 받고 있다.

II. 마이크로머시닝 기술현황 및 응용

노광전사를 기반으로 한 마이크로머시닝기술은 기술근원적 측면에서 볼때, 기판미세가공법 (bulk-micromachining), 박막미세가공법 (surface-micromachining), 그리고 LIGA (Lithographie, Galvanoformung, Abformung) 혹은 미세전주점 (microelectroforming) 등 크게 세종류로 구별 할 수 있으며, 이들 각각의 특성은 표 2에 상호 비교한 바와 같다.

1) 기판미세가공법 (Bulk-micromachining) :

1960년대 초 미국 Bell Laboratory에서 개발[5]된 미세가공기술



“ 기판미세가공법의 최대 장점은 들성치의 균질성과 재형성을 유지할 수 있다는 데 있고 박막미세가공법은 가공가능 소재가 다양하고 저수제현상, 양산성, 기전접착성에는 매우 유리하거나 고분면비 가공에 한계가 있다.”

로서, 실리콘 재료의 결정방향에 따른 화학적식각의 속도차를 이용하여 기판자체를 가공하는 기술이다. 기판에 불순물을 침투시키거나 내식성 피막 혹은 전기화학적 경계층(electrochemical junction)을 이용하여 미소구조물의 크기를 조절하며, 최소구조물 크기는 수10 μ m 정도이다. 이러한 기판미세가공법은 1960년대 이후 지금까지 실리콘센서[6] 제작에 주로 사용되어 왔으며, 가공공정이 집적회로 제조공정과 상이한 관계로 간단한 전자요소(저항체, 콘덴서등) 이외는 기계요소와 하나의 칩으로 동시제작 하는데 한계가 있다.

2) 박막미세가공법

(Surface-micromachining) :

집적회로 제조기술을 응용한 미세가공기술로서, 1980년대 미국 버클리대 (UC -

Berkeley)에서 다양한 미세기계요소[7,8] 제작에 성공한 이래, 반도체집적센서, 미소액추에이터 등 기전집적 시스템[1,3,9] 제작기술로 발전하였다. 박막미세가공법은 전술한 기판미세가공법과는 달리, 기판위의 박막 소재를 가공하는 기술로서 이때 기판은 다층박막 구조물을 지지하는 기초 역할만 한다. 이러한 박막미세가공법은 집적회로제조기술에 기반을 두고 있어 미세기계요소와 전자회로를 하나의 칩상에서 동시에 제작한 기계-전자 집적형태의 마이크로머신 실현을 가능케 하였다. 미소구조물의 크기는 실리콘 기판위에 증착한 박막의 두께와 물질선택적 등방성 화학식각공정 혹은 플라즈마등 고에너지 이온을 이용한 건식식각 공정에 의해 결정되며, 마이크로머신 제작시 주로 건식식각을 이용하여 수직다면의 미세 기계구조물을 가공하

표 2 마이크로머시닝 기술특성 비교

특성 \ 종류	기판미세가공법 (bulk-micromachining)	박막미세가공법 (surface-micromachining)	LIGA 혹은 미세전주법 (microelectroforming)
기술연대	1960년대	1980년대	1980년대
피가공물	기판(substrate) 자체	기판위의 박막구조물	기판위의 금속구조물
가공원리	이방성 화학적 식각	건식식각 및 물질 선별성 화학적 식각	전기화학적 금속구조
가공조절법	전기화학적 경계층 혹은 침투·식각방지 층사용	식각보호 박막사용	전주방지(주도체)벽 사용
IC 제조기술과의 호환성	제한적	우수	제한적
기·전 복합형태	기·전 접속형	기·전 집적형	기·전 접속형
응용분야	센서(실리콘구조)	반도체 집적센서 마이크로 액추에이터 미소기계요소 미소기전집적시스템	센서(금속구조) 마이크로 액추에이터 미소기계요소

고 있다. 현재 박막미세가공기술로 가공할 수 있는 기계구조물의 최소크기는 원자단위(atomic scale)까지 가능하나 제품 기술로서의 양산성, 경제성, 재현성을 고려한다면 0.1~1 μm 정도라 할 수 있고 2000년대 초고집적 반도체 (256Mbit) 양산을 해 0.25 μm 로 세밀화 되고 있다. 박막미세가공법은 집적회로 제조기술과 공정의 호환성이 있으나 공정자체가 반드시 일치하는 것은 아니다. 이러한 상호 공정간의 차이점 [2,3]은 가공소재 및 재료의 특성 차이와 가공하고자 하는 미세구조물의 기하학적 특징 차이에서 기인하며, 이러한 박막미세가공법의 공정 특성상 때문에 실제 제작경험과 이로부터 얻은 공정 노하우가 마이크로머신의 개발 성패 및 시기 단축의 관건이 된다.

3) LIGA 및 미세전주법

(Microelectroforming) :

이들 두기술 [1,2]은 모두 노광전사(lithography)와 전기도금(electroplating)을 이용한 미세가공기술로서 종래의 주물 가공방식과 흡사한 면이 많다. 먼저, LIGA 공정은 X-선을 이용하여 아크릴 수지(PMMA)로된 두꺼운 전주벽을 형성한 후 도금공정을 이용하여 미소기계 부품을 가공하는 방식이고, 미세전주법은 자외선 혹은 레이저를 이용하여 폴리이미드등 고분자 물질을 가공하여 전주벽을 형성하는 방식이다. LIGA 공정의 경우 제작가능한 최소구조물의 크기는 0.2 μm 정도이며, 미소전주법의 경우는 수 10 μm 정도이다. LIGA 공정과 미소전주법은 주로 고단면비를 가진 단위 미소부품가공에 응용되고 있으며, 기전 복합시스템 측면에서 볼때(표 2참조) 집적회로 제조기술과의 공정호환성

결여로 별도의 기계-전자 요소의 조립공정이 필요하다는 단점이 있다. 특히 LIGA 공정은 X-선을 필요로 하기 때문에 시설 및 가공경비가 비싸며 별도의 조립 비용요소 등 경제적 측면에서 기술 응용이 제한되어 있는 실정이다.

Ⅲ. 당면과제 및 기술전망

마이크로머싱 기술이 실용화 양산기술로 성숙하려면, 제품기술 측면에서의 가공성, 실용성 및 경제성이 검토되어야 하며, 가공가능 소재의 다양성, 물성치의 균질성·재현성, 가공치수의 정밀성·재현성, 가공단면의 기하학적 특징 (고단면비), 양산가공시의 집적도, 조립성과 함께 가공의 경제성 등이 종합적으로 검토되어야 한다.

기관미세가공법의 최대 장점은 물성치의 균질성과 재형성을 유지할 수 있다는 데 있고, 박막미세가공법은 가공가능 소재가 다양하고 치수재현성, 양산성, 기전집적성에는 매우 유리하나 고단면비 가공에 한계가 있다. 한편 LIGA 공정은 치수의 정밀성과 고단면비 가공에 매우유리하나, X-선 등을 이용하는 관계로 제작비용이 비싸고 별도 조립공정을 요하는 등 가공의 경제성 문제로 인해 고가정밀 단품제작에 그 응용이 국한되어 있다. 미세전주법은 모든 면에서 비교적 무난한 반면, 소재의 제약이 가장 큰 결점이고 시스템적인 측면에서도 제약이 많은 일부 단품가공 혹은 단품가공을 위한 일부 공정으로 응용되고 있다. 제품기술 측면에서의 마이크로머싱기술의 가공성 비교·분석은 참고문헌[2]에서 구체적으로 다룬바 있다. 여기서 한가지 주목할점은 최근 기술선진국에서 관심이 고조되고 있는 '기·전집적시스템 (MEMS

: Micro Electro Mechanical Systems)' 혹은 '마이크로머신' 분야의 탄생에 있어서 기계-전자요소의 동시공정이 가능한 박막미세가공법이 결정적인 산파역할을 하였다는 점이다. 이러한 박막미세가공법은 1980년대 중반 다양한 미소기계요소 가공기술로 발전하면서 본격적인 연구가 시작되었고, 마이크로머신이라는 용어의 탄생과 함께 폭넓은 산업분야에 걸친 다양한 응용에 [1, 3, 9]를 통하여 제품기술로서의 실용성과 경제성을 입증해오고 있다. 최근 이 분야에 대한 관심이 날로 증대되고 있는 이유는 박막미세가공법을 통하여 기계-전자 복합시스템의 소형화, 경량화, 다기능화, 고속화, 고신뢰도, 저전력소모를 이룸으로써 제품의 성능향상과 가격의 저렴화를 동시에 꾀할 수 있으며 이러한 기술특성이 현대 기계-전자 복합제품의 발전경향과 부합되고 있기 때문이다. 또한 박막미세가공법은 이미 실용성 및 양산성이 입증된 집적회로 제조기술을 기반으로 하고 있어 공정의 양산성 (재현성 및 안정성)을 갖춘 실용적인 제품기술로 급속히 성장하고 있다. 따라서, 집적회로 제조기술의 발달이 20세기 마이크로머신 개발을 통하여 21세기 포스트 일렉트로닉스 시대를 겨냥한 핵심기술로 성장하고 있으며, 향후 고집적 반도체 제조기술과 상호보완적인 형태로 발전해 나갈 것으로 전망된다.

참고문헌

[1] J. Bryzek, K. E. Petersen and W) Mc Culley, "March", IEEE Spectrum, pp.20-31, 1994.
 [2] 조영호, "마이크로머시닝 기술과 마이크로머신." 월간기계기술, pp.35-

43. 1993년 12월.
 [3] 조영호, '미소 기전집적시스템에서의 미소기계공학 : 기술특성, 응용제품, 관련연구분야 및 기술과제.' 대한기계학회지, 제33권, 제6호, pp.552-570, 1993.
 [4] 조영호, "마이크로머신의 설계 및 응용," 대한기계학회 학술강연회, 춘계학술대회 논문집(1), pp.68-78, 1994.
 [5] D.L. Klein and D.J. D'Stefan, "Controlled Etching of Silicon in the HF-HNO₃ System." J. Electrochem. Soc. Vol. 109, pp. 37-42, 1962.
 [6] 조영호, "자동차용 반도체 집적세서 및 마이크로 액츄에이터," 한국자동차 공학회지, 제 14권. 제 3호, pp.12-25, 1992.
 [7] R. T. Howe and R. S. Muller, "Polycrystalline Silicon Micro-mechanical Beams," Extended Abstract, Electrochemical Society Meeting, Montreal, PQ, Canada, pp.184-185. May 1982.
 [8] L.-S. Fan, Y.-C. Tai and R.S. Muller, "Pin Joints, Gears, Springs, Cranks and other Novel Micromechanical Structures." Tech. Digest, Transducers' 87, Tokyo, Japan, pp.849-852, June. 1987.
 [9] 조영호, "미소 기계-전자 집적시스템의 응용과 실제." 대한기계학회지, 제32권, 제7호, pp.588-603, 1992.