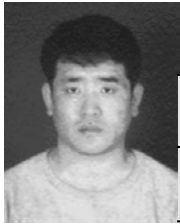


# 3차원 미세구조물 제조를 위한 미세전기도금 성형(Micro-Electroforming)기술의 소개



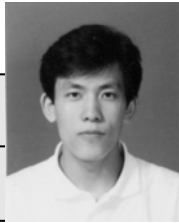
오 세 일

(KIMM 공정연구부)

- '87 - '91 고려대학교 재료공학과(학사)
- '91 - '93 한국과학기술원 재료공학과(석사)
- '93 - '98 삼성중공업 건설기계연구소 소재연구팀
- '00 - '01 미국 South Dakota School of Mines and Technology 재료공학과 박사과정 수료
- '02 - 현재 한국기계연구원 위촉연구원

## 나 영 상

(KIMM 공정연구부)



- '87 - '91 고려대학교 재료공학과(학사)
- '91 - '93 한국과학기술원 재료공학과(석사)
- '96 - '97 영국 캠브리지대학교 방문연구원
- '93 - 현재 한국기계연구원 선임연구원



이 상 웅

(KIMM 공정연구부)

- '73 - '81 고려대학교 금속공학과(학사)
- '81 - '82 현대중공업 철구사업부
- '82 - '84 고려대학교 금속공학과(석사)
- '87 - '93 독일 아헨공대 재료공학부(공학박사)
- '94 - 현재 한국기계연구원 책임연구원

## 1. 서 론

과거 20세기를 돌이켜 볼 때 눈부신 발전을 거듭하면서 산업 전반 뿐 아니라 일상 생활에까지 지대한 영향을 끼치며 가장 중요한 산업 요소로 자리잡은 기술 분야는 아마도 마이크로 일렉트로닉스(Micro-electronics) 관련 기술로 손꼽을 수 있을 것이고 이러한 발전의 근본 요소는 제품의 성능과 품질을 향상시키면서 동시에 획기적인 소형화를 이룰 수 있도록 하여준 혁명적인 미소 표면 가공 기술 발전에 있음을 누구도 부인할 수 없을 것이다. 이 시기 동안에 이루어진 마이크로 일렉트로닉스 기술은 주로 데이터의 저장, 연산과 관련된 정보저장 및 처리 기술과 다양한 전기 신호 처리를 통한 제어 기술의 발전에 지대한 공헌을 해왔기 때문에 자체적인 기능을 수행하는 제품으로 뿐 아니라 기존 제품의 정밀도와 소형화 그리고 성능 향상에 중추적인 역할을 하는 주요 부품으로도 개발되어 그 파급 효과가 산업 전반에 걸쳐 매우 크게 전파되어 왔다. 이러한 마이크로 일렉트로닉스 기술의 눈부신 성공을 경험하여 왔던 기술자들은 전자 분야에서 이루었던 놀라운 기술적인 진보(성능을 향상시키면서 동시에 소형화를 가능케 했던 기술적 진보)가 기계, 광학, 응용 유체역학, 화학, 생물학 등의 전자 산업 이외의 분야에 비슷하게 적용될 수 있는 가능성을 확인하고 이들을 서로 접목하기 위한 새로운 기술 영역을 개척하여 왔는데 1980년대 중반부터 지속적으로 연구 개발 되어온 MEMS (Micro Electric Me-

chanical System) 관련 개발 실적은 이러한 가능성을 실현시켜 온 성공적인 사례라 할 수 있을 것이다. 이 기술의 주요 골격은 기존의 마이크로 일렉트로닉스 기술을 통해 구현되는 마이크로시스템을 특별히 고안된 3차원 미세 구조물(3-D Microstructure)과 연결시켜 원하는 동작이나 센싱 등을 하게 하여 단순 제어나 정보처리 등의 작업만이 아니고 특정 동작이나 감지 기능을 수행할 수 있는 완전한 독립적인 기능을 소형의 마이크로 칩(Micro chip) 위에서 구현하고자 하는 데에 있어 왔다. 따라서, 이러한 새로운 기술을 개발하는 과정에서 소형의 다양한 형상을 가진 3차원 미세 구조물의 제조와 관련된 기술 개발이 필요하게 되었고 이를 위해 다양한 방법들이 시도되어 왔다. 이 중 가장 효과적이고 대중적으로 사용되어온 기술은 이미 마이크로 일렉트로닉스 개발 과정에서 많은 경험과 노하우를 축적하여 왔던 실리콘웨이퍼의 Deep Etching을 통한 방법이었는데, 이 기술 분야의 지속적인 발전과 확대 적용 과정에서 실리콘이라는 단일 재료가 보유하고 있는 재료의 한계가 분명히 드러나게 되었다. 예를들면, 미소 구조물을 동작시키기 위한 액츄에이션 하중의 증가에 따라 내구성 및 강성 측면에서 기존의 실리콘 식각기술을 통해서서는 구현되기 어려운 두께와 형태의 미세 구조물 제작이 필요하게 되었는데 이러한 과정에서 다양한 종류의 금속 재료들을 가지고 3차원 미세구조물을 제조할 수 있는 미세 가공 기술의 개발이 지속적으로 이루어졌다. 이러한 목적으로 개발된 미세 가공 기술은 1) Mechanical Micromanufacturing 2) Micro Electro-Discharge Machining(EDM) 3) Laser Micromachining과 같은 기존의 전통적인 가공 방법을 더욱 정밀하게 개량 발전시킨 미세 가공 기술과 반도체 미세 표면 가공 기술인 포토 리소그래피 기술과 전통적인 도금 기술을 결합하여 3차원 미세구조물을 도금을 통해 제조하는 미세전기도금성형(Micro-Electro-forming)기술로 크게 나뉘어 질 수 있는데 각각의 가공 방법에 따른 정밀도와 가공 단가가 제품의

크기와 형상에 따라 다르므로 서로 단순 경쟁 관계보다는 서로 보완 관계에서 기술의 개발과 발전이 이루어지는 것으로 평가된다. 특히, 이러한 미세 성형 기술의 확보는 이미 전술한 바와 같은 전자 분야의 마이크로시스템기술과 비 전자 분야인 기계, 유체, 화학, 생물학 등을 접목한 MEMS 뿐 아니라 정보통신 및 생명공학 등의 신산업 분야에서 필수적으로 요구되는 핵심기반기술이므로 그 중요성이 점점 증대되고 있다. 본 고에서는 최근 후막(>~100 $\mu$ m)의 코팅이 용이하고 일반 UV(자외선: Ultra-Violet) 광원에 대한 감도가 좋아 높은 종횡비(Aspect Ratio: 특정 구조물의 가로 폭과 세로 높이의 길이 비)로 현상이 가능한 새로운 포토레지스트(photoresist) 개발로 복잡한 3차원 미세 구조물을 저렴한 비용으로 손쉽게 제조할 수 있는 미세전기도금성형기술에 대하여 소개하고자 한다.

## 2. 미세전기도금성형(Micro-Electroforming) 기술의 개요

미세전기도금성형은 포토마스크(Photomask)를 사용하여 현상된 포토레지스트(PR:Photoresist)의 패턴사이로 전기도금을 통해 원하는 금속이나 합금을 성장시켜 특정 형상의 구조물을 얻는 미세 성형 기술로 그림 1에 본 기술과 관련된 기본 공정을 도식적으로 나타내고 있다. 반도체 리소그래피공정과 일반 전기도금공정을 결합하여 미세 금속 구조물을 형성시키는 본 기술은 전자산업에서 메모리의 집적도를 높이기 위한 금속 자기 헤드 박막(수직형 자기 머플 메모리 등)의 제조와 집적도 향상을 위해 도체의 선폭 감소를 실현시키기 위한 방안으로 1960년대 중반부터 IBM에서 최초로 시도되었다. 이전까지 금속 박막의 패턴닝은 주로 에칭법에 의존하였었는데 도체 선폭의 감소와 두께의 증가를 요구하는 과정에서 그림 2에서 보여주는 바와 같이 에칭법에서 발생하는 언더컷 현상은 균일한 단면을 가지는 선을 얻는데 장애로

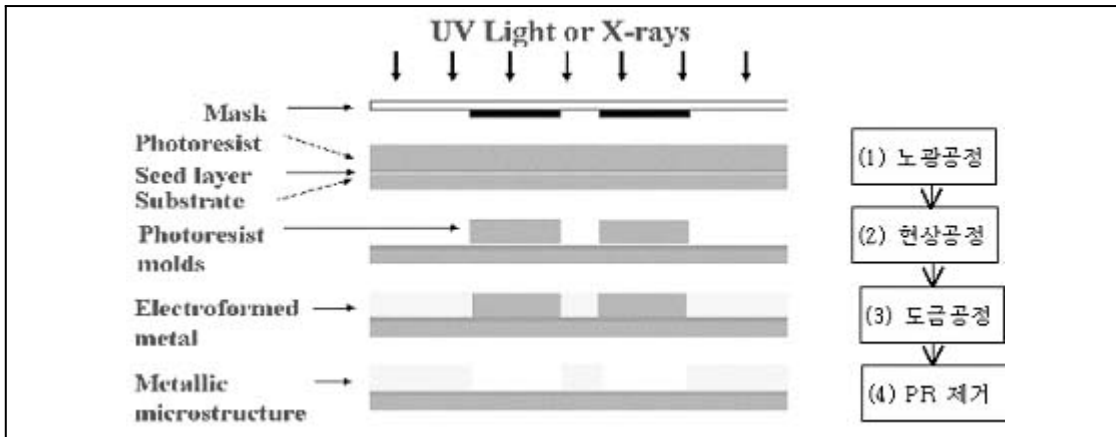


그림 1. 미세전기도금성형(Microelectroforming)의 기본 공정 개략도

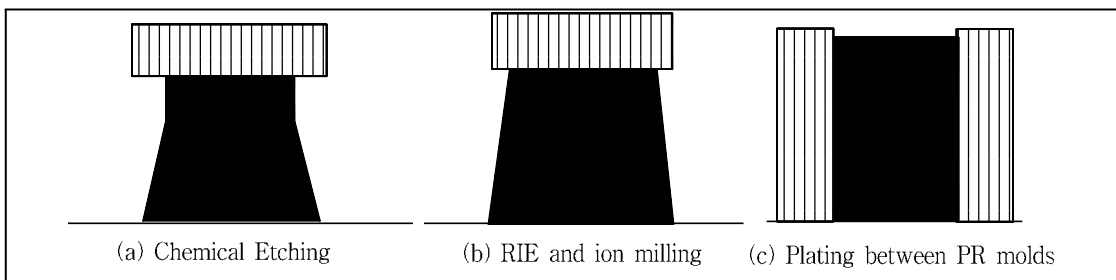


그림 2. 다양한 패터닝 방법으로 얻어진 미세선의 단면 형상 비교

(에칭법의 경우, Umbrellar Effect라고 불리는 언더컷 현상에 의해 균일한 단면을 얻을 수 없는 반면 PR 사이로 도금을 하여 얻은 미세선은 균일한 단면을 보임을 알 수 있음.)

작용하여 포토레지스트 패턴 사이로 전기 도금법을 이용하여 미세선이나 원하는 구조물을 형성시키는 방법이 보다 효율적이고 손쉬운 방법으로 각광받게 되었고 이후, 이러한 공정을 보다 개선, 발전시켜 자기메모리의 저장용량을 획기적으로 향상시키는데 크게 기여하게 되었다. 하지만, 이러한 목적으로 개발된 기술은 선폭과 두께가 수~수십  $\mu\text{m}$  정도의 2차원적인 표면 미세 성형 기술 범위로 분류될 수 있으며 따라서, 현재 본고에서 논의하고자 하는 3차원 미세 구조물 제조를 위한 미세전기도금성형 기술과는 제조되는 제품의 크기와 종횡비(Aspect Ratio) 측면에서 큰 차이가 있다고 할 수 있다. 이러한 측면에서 미세전기도금성형 기술을 효과적으로 적용하고 응용하기 위해서는 기존의 마이크로일렉트로닉 기술분야에서 개발되고 발전되어 온 표면미세성형기술과 확연히 구별되는 몇가지 난점이 존재할 수 있는데 이는 다음 표 1

에서 정리되어 있다.

위의 표에서 알 수 있듯이 3차원 미세 구조물 성형을 위한 미세전기도금성형 기술 적용을 위해서는 주로 후막의 포토레지스트 물질의 코팅, 현상 및 최종 성형 후 제거와 관련된 문제들이 주요 기술 난제로 제기되고 있는데 그러므로 본 기술의 성패와 관련된 많은 부분들이 주로 이에 적합한 포토레지스트의 적용과 관련됨을 알 수 있다. 특히 수백 마이크론의 두꺼운 두께에 조사된 광원이 균일하게 포토레지스트 내부로 직진하여 전체 두께에 고르게 광원에 의한 영향을 주는 것은 후공정인 현상 작업에서 얼마나 균일한 단면과 형상의 패턴이 형성되는가에 직접적으로 영향을 끼치므로 일반포토레지스트에 대하여 투과능력이 높지 않은 UV를 이용하는 Optical Lithography 방법으로는 거의 적용이 불가능한 방법으로 인식되어 왔다. 이러한 이유로 미세전기도금성형으로 3차원 미세

표 1. 미세전기도금성형 기술의 난점

항 목	기술적인 난제	문제 해결 방향
포토리저스트 두께	수백 $\mu\text{m}$ 의 포토리저스트를 전체적으로 균일하게 코팅	포토리저스트 솔벤트의 함량 조절과 스핀 코팅 공정의 최적화(스핀코팅을 위한 회전수를 다단계로 조정)
기판의 변형	두꺼운 포토리저스트의 솔벤트 휘발을 위한 베이킹과정에서 무시할 수 없는 수준의 열변형에 의한 기판변형 발생	베이킹 온도 최소화를 위한 공정개발 포토리저스트와 비슷한 열팽창계수를 갖는 기판 재료의 사용
High Depth of Focus 의 요구	후막 두께 전체에 균일한 노광 작업의 실현	노출되는 광원의 흡수 정도가 매우 낮은 포토리저스트 물질의 개발
포토리저스트 제거	제품의 종횡비가 클 경우, 제조 완료후, 남아있는 포토리저스트의 완전한 제거가 용이치 않음	효율적인 포토리저스트 제거 공정 개발 (염욕사용, 레이저 어블레이션 등)

구조물을 제조하려는 시도는 효율성과 경제성 측면에서 큰 주목을 받지 못하였고 일부 아주 특수한 용도로 사용되는 제품의 제조를 위한 공정으로만 적용되었는데 독일 칼스루 헤 연구센터인 KfK에서 처음으로 우라늄 동소체 분리를 위한 노즐 제작을 위해 사용된 LIGA(독일어로, Lithographie(식각) Galvanofmung(도금) Abformung(사출)의 약자) 공정이 바로 그 예라고 할 수 있을 것이다. LIGA 공정에서는 매우 직진도가 좋아 High Depth of Focus를 갖는 고에너지 광원인 싱크로트론 X-ray를 포토리소그래피 공정에 사용하므로 수백 마이크로 두께의 구조물을 1 $\mu\text{m}$  내의 공차 범위 내에서 정교하게 제조할 수 있는 성형 능력을 보유하고 있는 것은 널리 알려져 있다. 하지만, 매우 값비싼 광원인 싱크로트론 X-ray를 이용하여야 하므로 현재까지도 본 기술의 대중화와 상용화에는 어려움이 뒤따를 수 밖에 없는 것으로 보인다. 이러한 상황에서 최근 MEMS 기술 분야의 성공적인 성과와 이의 확대 적용을 위한 시장의 Needs에 힘입어 일반 포토마스크와 저가의 장비인 UV-Aligner를 이용하여 수 백 마이크로 두께의 구조물을 비교적 정교하게 제조할 수 있는 3차원 미세구조물 제조용 포토리저스트들이 개발되면서 미세전기도금 성형을 이용한 공정 개발이 활발하게 연구되고 있다. 이러한 일련의 개발 현황을 통한 기술 추세를 고려할때, 향후 가까운 미래에 범용 장비인 UV-Aligner와 일반 포토 마스크를

이용하여 3차원 미세구조물을 매우 저렴하고 손쉽게 대량 생산할 수 있는 경쟁력 있는 미세성형 공정으로서의 미세전기도금성형의 잠재력을 실현시킬 수 있게 될 것으로 예측된다.

### 3. 미세전기도금성형(Microelectroforming) 공정의 주요 고려 사항

미세전기도금성형 공정은 반도체 리소그래피공정과 전기도금공정이 결합된 복합 공정으로 특정 시제품 개발을 위한 시작 단계에서 최적의 공정을 도출하기 위해 고려하여야 할 매우 많은 변수들이 서로 복잡하게 관련되어 있는데 이러한 변수들은 다음과 같이 세분화 시켜 고려할 수 있을 것이다.

- 1) 도금 구조물을 키우기 위한 기판(Substrate)의 종류와 표면전처리 조건
- 2) 최적 포토리저스트의 선정과 후막 도포 및 Pre-baking 조건
- 3) 선정된 포토리저스트의 인화조건(노광의 밝기와 적정 노출 시간)
- 4) 현상액(Developing Solution) 조제와 현상 조건
- 5) 전기도금액 조제와 전기도금 조건
- 6) 제조 후 포토리저스트 제거방법

위에서 제시하고 있는 대부분의 변수들은 잘 정립된 어떤 규칙에 의해 선정되기보다는 아직까

지도 주로 관련 제품의 제조 경험을 통해 고려되어진다고 한다. 예를 들어, 기판의 경우를 고려하여 보면 단순히 금속 미세구조물을 제조하기 위해서는 스테인레스나 알루미늄을 기판 형태로 잘 가공하여 사용하여 이 위에 Ni 등의 도금을 통해 구조물을 형성하는 것으로 알려져 있으나 실제 제조를 하는 과정에서는 기판의 편평도, 표면거칠기, cleaning 등이 잘 되어 있지 않으면 후공정에서 많은 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 피하기 위해 초기에는 매우 가공이 정교하게 되어 있는 실리콘 웨이퍼를 사용하는데 이 경우에는 도금 성장을 위해 실리콘 웨이퍼 표면에 입히는 seed layer의 종류와 품질이 후 공정에 매우 많은 영향을 준다고 알려져 있다. 따라서, 위에서 제시하고 있는 6가지 고려사항들은 실제 시제품 등을 제조할 때 독립적으로도 고려하여야 할 문제가 있지만 이외에도 후공정에 미치는 영향까지 모두 고려하여야 하는 어려움이 따르게 된다. 이러한 이유로 관련분야에 수십년간 종사한 전문가들조차 아직까지 잘 통합된 공정조건 및 관리방안을 명확히 제시하지 못하고 있으며 다만, 개발되는 시제품별로 물리, 화학적 전문 지식과 자신들의 제조경험을 통한 통찰력을 가지고 개발시 발생하는 문제점을 분석하고 해결해 나가는 방향으로 개발이 이루어지는 실정인 것으로 알려져 있다. 이러한 이유로 본 고에서는 미세전기도금성형과 관련되어 공통적으로 고려되어야 하는 문제인 3차원 미세구조물용 포토레지스트와 미세 패턴 사이로 도금층을 성장시키는 문제에 대하여 간략하게 논의하고자 한다.

### 3.1 포토레지스트(photoresist)

초기 마이크로일렉트로닉스 분야에서 금속도체나 자성체를 도금을 통해 형성시키기 위해 IBM에서 사용된 포토레지스트는 Novolac positive resist 이었는데 이는 일반적인 스핀 코팅 공정으로 한층의 두께가 1~3 $\mu$ m 정도 입혀지

도록 조제되어 있었다. 이를 가지고 IBM의 기술자들은 보다 두꺼운 금속 구조물을 형성시켜야 하는 필요에 따라 1970년대에 이미 100  $\mu$ m의 두께까지 코팅이 될 뿐 아니라 거의 수직에 가깝게 현상될 수 있는 기술을 개발하였다. 하지만, 이러한 기술들은 모두 IBM의 독점 기술로 일반에게 공개되지 않았을 뿐 아니라, 그 제조 공정을 재현하는 것은 쉽지 않았을 것으로 추정된다. 하지만, 1990년대 중반부터 다양한 3차원 미세구조물 제조의 필요에 따라 수백마이크론의 두께를 쉽게 코팅시킬 뿐 아니라, 일반 광학용 포토마스크와 UV-Aligner를 사용하여 현상작업도 용이하게 할 수 있는 새로운 종류의 포토레지스트가 개발되었는데, 이러한 목적으로 개발된 포토레지스트 중 현재 가장 우수한 성능을 보이는 것으로 꼽히는 것이 IBM에서 Epon이라는 상업명(Shell사 제품)으로 판매되고 있는 에폭시 수지를 기본으로하여 특별한 솔벤트와 Photoinitiator를 첨가하여 개발된 네거티브 포토레지스트인 SU-8이다. 이 제품은 2mm 두께의 포토레지스트를 일반 UV-Lithography를 이용하여 Aspect Ratio(중횡비: 최소횡방향 길이와 최대두께의 비) 25:1 까지 패터닝이 가능한 제품으로 알려져 있다. 그림 3에서 보여주는 것과 같이 일반 UV-Aligner를 통해 150 $\mu$ m의 후막을 정교하게 패터닝 할 수 있음을 잘 보여주고 있다. 현재까지 알려져 있는 SU-8의 가장 큰 단점은 현상 후 남아있는 포토레지스트 패턴이 cross-linking 반응에 의해 매우 견고하게 남아있으므로 일반 솔벤트를 사용하여 제거하는 것이 용이하지 않다는 것인데 특히, 높은 중횡비를 갖는 홀쭉한 몸체의 경우 제품에 손상을 주지 않고 제거하는 문제가 제품 제조의 가장 어려운 단점으로 알려져 있다. 또한, SU-8은 IBM사에서 특허권을 가지고 있는 제품으로 자사와 라이선스 계약이 맺어진 매우 제한된 판매 경로를 통해 고가로 판매되고 있기 때문에 아직은 수급과 경제성 측면에서 상용화를 위해서는 문제가 있는 것으로 보

인다. 하지만, 이의 대중화를 위한 기본 공정 연구가 국내 일부 대학을 포함하여 전 세계적으로 대학 및 연구소 등에서 매우 활발히 이루어지고 있으므로 빠른 시일내에 시장에 뿌리를 내릴 수 있을 것으로 추정된다. 분명한 것은 미세전기도금성형 기술의 성공적인 상용화를 위해서는 후막의 포토레지스트를 일반 광학용 리소그래피 장비로 정교하게 패턴을 형성시킬 수 있는 선행 기술을 개발하여야 한다는 것이며 이에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

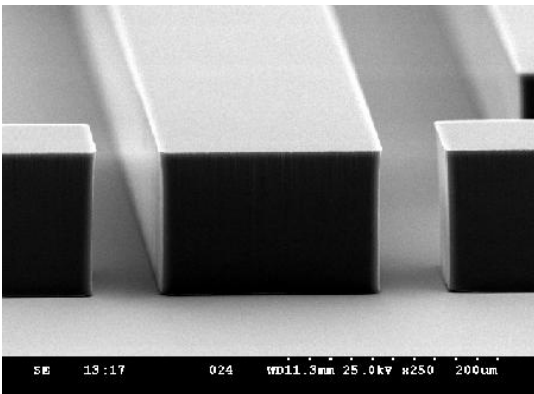


그림 3. Optical Lithography 법으로 제조된 포토레지스트 몰드의 예 (포토레지스트: SU-8, 높이: 150 $\mu\text{m}$ )

### 3.2 미세 패턴 사이로의 도금층 성장

성공적인 미세전기도금 성형을 위해서 어떻게 미세 패턴 사이로 결함이 없는 균일한 두께와 조성(합금도금의 경우)을 갖는 도금층을 형성시킬 수 있는가에 대한 문제는 가장 중요한 고려 대상이 될 것이다. 일반적인 마크로한 도금의 경우, 균일한 도금층을 얻기 위해서 가장 먼저 고려되는 사항은 전해질내의 이온들의 물질 전달과 전극간에 분포되어 있는 전류 밀도의 분포를 도금이 되는 제품의 표면 위에 얼마나 균일하게 분포시키는가에 의해 좌우된다고 할 수 있다. 따라서, 일반 도금의 경우, 도금이 되는 이온의 물질 전달과 전류 밀도 분포를 균일하

게 유지하기 위해 도금액의 적당한 교반과 전극간의 세심한 거리 및 배치 그리고 다양한 보조 전극 사용 등을 이용하게 된다. 하지만, 매우 작고 깊은 패턴사이로 도금이 되어야 하는 경우, 비록 패턴 외부에서 심하게 도금액이 교반된다 할지라도 실제 도금이 되어야 되는 패턴내에는 거의 이러한 영향을 줄 수 없다. 특히, 패턴의 직경이 좁고 깊이가 깊은 경우에는 이러한 문제는 보다 심각하게 된다. 또한, 패턴내에 형성되는 전류밀도는 마크로하게 보조전극 등을 통해 균일하게 제어하기가 거의 불가능 함을 염두해 두어야 할 것이다. 그림 4는 일반적으로 좁은 패턴내에서 성장되는 도금층의 모양이 패턴의 깊이와 폭비에 따라 각각 다른 형상으로 성장됨을 나타내고 있다. (a)와 같이 패턴의 폭이 넓고 깊이가 얇은 경우에는 패턴의 전류 밀도가 모여 있는 포토레지스트 몰드의 양끝 모서리에서 도금층의 성장속도가 빨라 양끝 부분이 보다 볼록하게 성장되는 모습을 보이는 반면 (b)와 같이 패턴의 폭이 좁고 깊이가 깊은 경우에는 도금되는 금속이온의 전달량이 가장 많은 중앙 부분에서 볼록하게 성장되는 모습을 보임을 알 수 있다. 따라서, 일반 도금법을 이용하여서 도금층을 성장시킬 경우에는 패턴 주변에 형성되는 독특한 전류 밀도와 이온 전달 분포에 의해 전체 폭에 균일한 두께로 성장시키는 것은 거의 불가능함을 알 수 있다. 이러한 이유로 비교적 두꺼운 제품(수백 마이크로 이상)을 미세전기도금성형법을 이용하여 제조하는 경우, 원래 두께보다 약 30%이상 두꺼운 두께로 성장시킨 후 윗부분을 래핑을 통해 날려 균일한 두께의 제품을 제조하는 경우가 많은데 이 경우 후가공을 위한 공정이 포함되어 제조 비용을 높게 하는 원인이 되므로 이러한 공정을 생략할 수 있도록 최대한 패턴내에서 균일한 두께를 얻을 수 있는 도금 공정을 개선하는 방안에 대하여 여러 방법들이 제안되고 있다. 미국의 제너럴 다이내믹스에서 특허 출원한 Double-Cell Electroplating은 이러한 목적으로 고안된 도금 장치와 도금법에 대하여 자세히 공개하고 있는데 이는 cathode와 anode를 서로 다른 용기에

분리시키고 각각의 전해질을 사이폰으로 연결시켜 전해질 이동을 극도로 제한시키므로 도금의 속도는 매우 느리나 매우 좁은 패턴 전체에 균일하게 도금이 이루어지도록 하였는데 이 방법은 주로 미세선을 기판위에 패턴닝하기 위해 적용하고 있다고 한다. 끝으로 패턴의 폭이 점점 줄어들면서 동시에 깊이가 깊어질수록(즉, 점점 높은 종횡비를 갖는 미세 구조물을 성형하고자 할수록) 도금과 관련된 여러 다른 어려움이 도출될 것으로 예상되는데 이는 도금 반응을 통해 발생하는 수소 가스와 같은 반응물을 효과적으로 좁은 패턴을 통해 방출시키는 방법과 포토레지스트와 도금액 사이의 젖음성을 개선시켜 도금액이 충분히 패턴내로 젖어들어갈 수 있도록 하는 방법과 관련된 것들이 주를 이룰 것이다. 이러한 문제는 도금액의 성분 조절과 전압을 가하는 방법의 조절 등 여러 도금 변수들의 변경을 통해 다양한 시행착오를 통해 경험적으로 해결해 나가야할 것으로 판단되며 이러한 다양한 문제 요소들의 해결을 통해 미세전기도금성형이 경쟁력있고 신뢰성있는 미세성형기술로의 자리를 확실히 할 수 있는데 큰 기여를 하게 될 것이다.

4. 미세전기도금성형의 적용 현황

미세전기도금성형은 그림 5에서 보여주는 바와 같이 크게 두가지 방법으로 3차원 미세 구조물을

제조하는데에 적용될 수 있다. 첫 번째 방법은 포토레지스트 몰드 사이로 전기도금을 통해 형성된 금속 부품을 바로 3차원 미세부품으로 사용하는 것이고 다른 방법은 전기 도금을 통해 형성된 금속 부품을 정밀 플라스틱 사출과 같은 이후의 성형 공정을 위한 미세 금형으로 사용하는 것이다. 이미 잘 알려진 LIGA법을 이용한 미세성형제품은 이미 국내외에서 다양하게 제조되고 시험되어 왔는데 이는 전술한 바와 같이 고가의 싱크로트론 X-ray source와 X-ray lithography용 마스크를 사용하여야 하므로 상용화에는 큰 장애가 되어 왔다. 하지만, 최근에 SU-8과 같은 MEMS용 포토레지스트 개발에 힘입어 일반 UV-Lithography를 사용하여 정밀도가 우수한 3차원 미세 구조물을 저가의 일반 장비로 제조하는 회사들이 생겨나고 있는 데, Swiss의 Mimotec사가 그 대표 주자라 할 수 있다. 이들은 그림 6과 그림 7에서 보여주는 다양한 3차원 미세 구조물과 플라스틱 사출용 미세 금형을 개발함은 물론 이들을 상용화하는데에 성공하였다. 비록 이들의 성공은 정밀 미세 부품의 수요가 절대적인 시계 공업이 발달된 국가인 스위스의 산업 구조적인 요인이 크게 작용하였지만 현재는 이에 만족하지 않고 첨단 통신용 미세 안테나 부품과 유전자 진단용 Lab-on-Chip등의 바이오 부품까지 지속적으로 그 적용범위를 확대하고 있다.

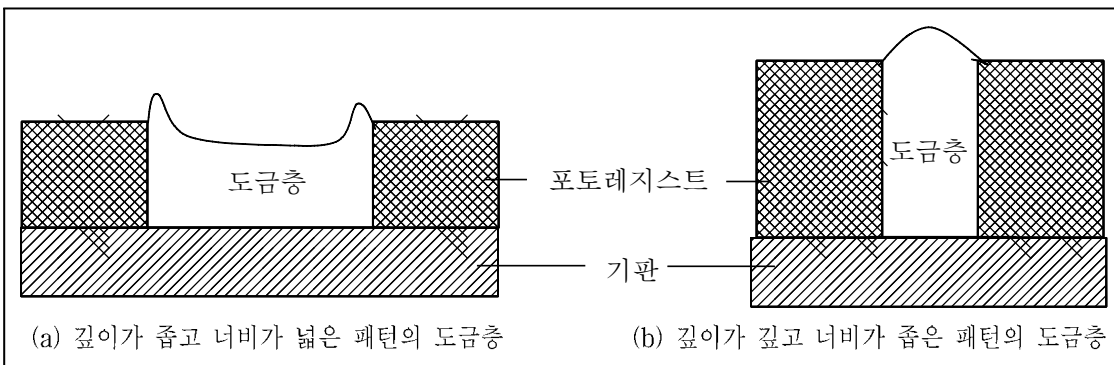


그림 4. 포토레지스트 패턴 종횡비에 따른 도금층 성장 모양  
 ( 이러한 성장 거동을 보이는 주된 이유는 패턴 주변에서 형성되는 전류 밀도 분포와 이온들의 물질 전달 분포가 특정 위치에서 가장 높게 나타나기 때문임.)

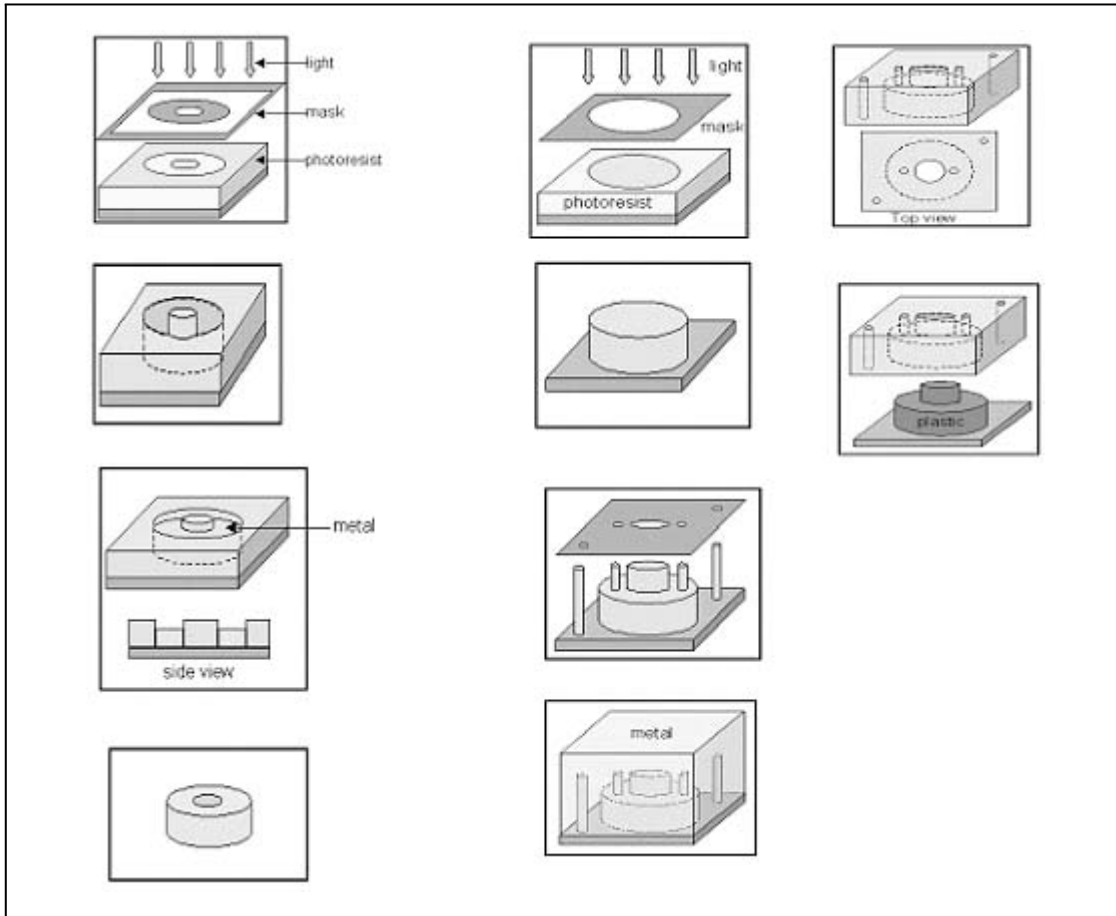


그림 5. 미세전기도금성형기술의 적용 방법

- (a) 포토레지스트 금형 사이로 전기도금을 통해 얻어진 금속을 직접 3차원 금속구조물로 제조
- (b) 미세 플라스틱 부품 사출을 위한 금형으로 제조

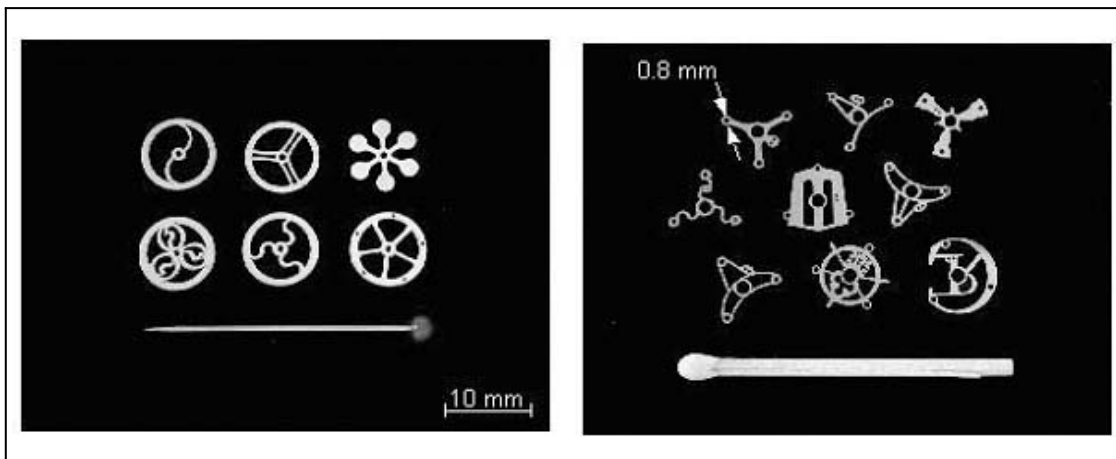


그림 6. 미세전기도금성형으로 제조된 3차원 미세구조물 (스위스의 MIMOTEC사: 시계 부품)



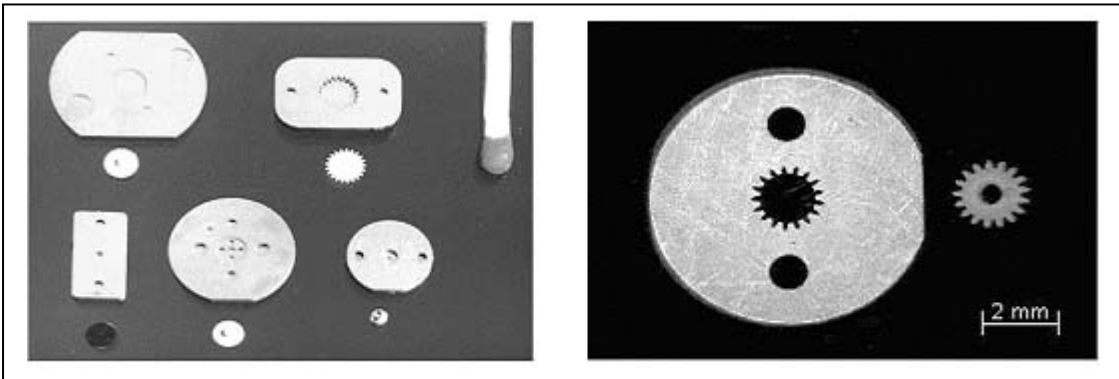


그림 7. 미세전기도금성형으로 제조된 플라스틱 사출용 미세금형과 사출품 (스위스의 MIMOTEC사: 미세 기어류)

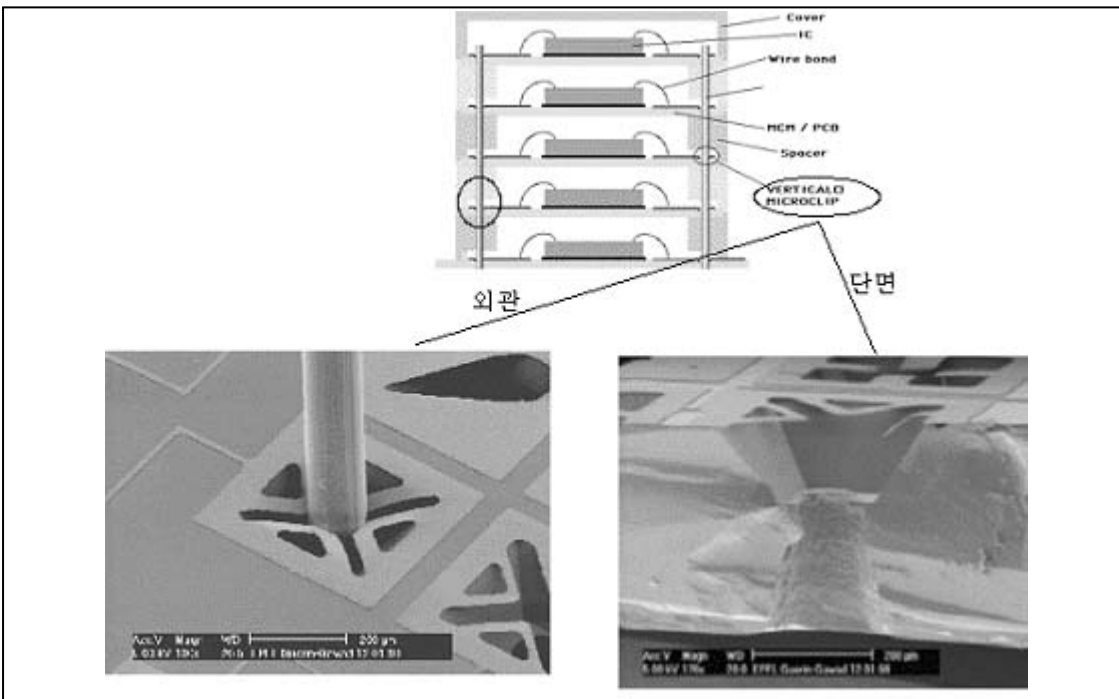


그림 8. 미세전기도금 성형으로 제조된 마이크로 클립 (Chip간의 3차원 배열시 도체간의 상호 접촉을 위해 특별히 고안된 클립 구조물)

이외에도 그림 8에서 보여주는 바와 같이 micro chip 간의 3차원 배열을 효율적으로 하기 위해 고안된 기존에 존재하지 않은 새로운 3차원 미세 구조물인 마이크로 클립 구조도 미세전기도금성형공정을 통해 효과적으로 구성할 수 있음을 알 수 있다. 그 외에 미세전기도금성형을 이용하여 다양한 MEMS용 자기 센서류와 액추에이터류를 제조할

수 있으며 플라스틱의 마이크로머신닝을 위한 Hot Embossing Master 제작과 잉크젯 노즐 및 sieve형 마이크로 필터 등의 제조에 까지 다양하게 적용할 수 있다. 특히, 본 기술은 일단 특정 제품의 제조를 위한 제조 공정이 올바르게 확립되면 batch process를 통해 매우 손쉽고 값싸게 제품을 대량 생산할 수 있다는 장점이 있다. 특히, 국내의

경우 주로 전자 산업 분야에 종사하는 일부 전문가들만이 본 기술에 관심을 가지고 연구를 하고 있는 형편이므로 기존의 전통 가공 기술과 첨단 미세 가공 기술의 중간 범위에 존재하는 틈새 시장을 찾는다면 크게 무리하지 않는 범위내에서의 투자와 장비 구축을 통해 다양한 고부가가치 부품을 미세전기도금성형을 통해 성공적으로 적용할 수 있을 것이다. 따라서, 본 기술은 가까운 미래에 국내 부품 소재 산업에 새로운 활력을 불어 넣을 수 있는 신기술로의 역할을 분명히 할 것으로 확신한다.

## 5. 결 론

현재 선진국에서는 21세기 지식 기반 경제에 적합한 신산업 육성을 위한 기술 정책을 펴나가고 있는데 그 핵심은 아마도 다양한 학문 분야를 서로 접목시키는 과정에서 파생되는 혁신적인 기술 개발 및 신산업 분야의 파생에 있는 것으로 보인다. 이러한 과정에서 이미 나타나고 있는 가지적인 성과 중 하나는 전자, 기계, 화학, 생물, 재료 등의 여러 학문을 접목하여 기존의 마이크로일렉트로닉스 기술을 한 단계 진보시킨 MEMS 기술에 있을 것이다. 특히, 이러한 기술은 미래 신산업의 주요 골격을 이루는 정보통신산업(IT)과 바이오산업(BT)의 발전을 위한 핵심 기반 기술로 중요한 역할을 해왔고 앞으로도 결정적인 역할을 할 것에 추호의 의심이 없을 것이다. 이러한 기술 발전 추세를 고려할 때 이러한 신기술을 실제 구현하기 위한 중요한 도구인 미세성형기술 역시 그 중요성을 간과할 수 없는 실정이다. 이러한 이유로 선진국에서는 그 동안 기초부터 잘 정립하여온 전통 가공 기술과 이의 한계를 극복하기 위한 새로운 개념을 접목시켜 다양한 방법으로 미세 성형을 위한 가공의 한계에 도전하고 있으며 현재까지 이러한 방법들이 서로 경쟁 또는 상호 보완적인 관계에서 이들을 잘 조합하여 새로운 제품의 제조에 적용하고 있는 것으로 분석되고 있다. 하지만,

주로 조립산업을 통한 완성품 제조에 역량을 집중하여 온 국내의 경우에는 가공 등과 관련된 요소 기술에 대한 기초가 건설하지 못한 상황에서 미세 성형을 위한 기술 확보가 쉽지 않은 상황임은 누구도 부인할 수 없을 것이다. 이에 대하여 본 고에서 소개하였던 미세전기도금 성형기술은 이러한 문제의 한 대안으로 제시될 수 있을 것으로 보인다. 세계 최대의 반도체 메모리 생산국으로 반도체 제조를 위한 매우 우수한 미세표면가공기술을 보유하고 있는 상황에서 이들의 기술을 적용한 미세전기도금성형기술은 이미 그 저변이나 기술적 기초가 충분히 축적되어 있을 뿐 아니라 관련 설비와 부대시설 등도 상당히 잘 갖추어져 있는 상태이므로 이를 기반으로 3차원 미세가공을 위한 일부 기술을 보완함으로써 빠른 시간내에 세계 기술에 근접할 수 있을 것이다. 따라서, 일부 전자 및 MEMS 관련 전문가들만이 관심을 가지고 있는 본 기술을 보다 다양한 분야의 전문가들에게 소개하고 본 기술을 각 분야에서 가지고 있는 미세 가공과 관련된 애로점을 해결하기 위한 진지한 고찰이 이루어진다면 본 기술은 매우 큰 파급 효과를 가지고 신산업으로 국가 산업에 중요한 한 부분으로 뿌리 내릴 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

1. L.T. Romankiw, "A path: from electroplating through lithographic masks in electronics to LIGA in MEMS", *Electrochimica Acta*, Vol. 42, No. 20-22, pp. 2985-3005, 1997
2. W. Menz, J. Mohr, O. Paul, "Microsystem Technology", WILEY-VCH, 2000.
3. U.S Patent 4,935,109, "Double-Cell Electroplating Apparatus and Method",
4. J. Zhang, K.L. Tan, H.Q. Gong, " Characterization of the polymerization of SU-8 photoresist and its applications in micro-electro-mechanical systems(MEMS)", *Polymer Testing*, Vol. 20, pp. 693-701, 2001.

5. Y.Cheng, B.Y.Shew, M.K.Chyu, P.H.Chen, "Ultra-deep LIGA process and its applications" Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A Vol. 467-468, pp. 1192-1197, 2001
6. M.Wollitzer, J.Cl. Puipe, C.lManaranche, and H.Lorenz, "RF-Probes and waveguides made by UV-LIGA Microelectroforming", EAST-forum 2001, "Electrodeposition in electronics", pp 10-13, Oct. 2001
7. Chantal G. Khan Malek, "SU8 resist for low-cost X-ray patterning of high-resolution, high-aspect-ratio MEMS", Microelectronics Journal, Vol. 33, pp 101-105, 2002
8. J.A. van Kan, A.A.Bettioli, F.Watt, "High precision 3D metallic microstructures produced using proton beam micromaching", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, Vol. 181, pp 258-262, 2001
9. 스위스 MIMOTEC사 홈페이지, <http://www.mimotc.ch>
10. SU8 Technology 관련 인터넷 사이트, <http://aveclafaux.freeservers.com/SU-8.html#top>