

## LIGA 기술 및 전망

박 순 섭  
전자부품종합기술연구소

### I. 서 론

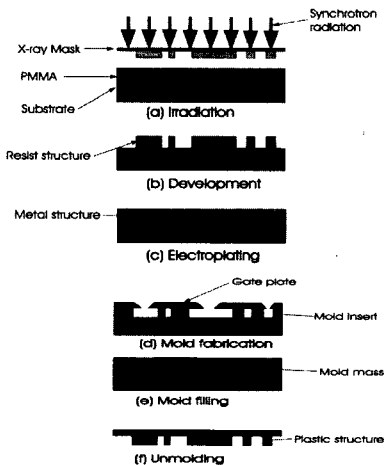
약 20년전부터 새로운 장비 및 기술이 미세 구조물 제작을 위하여 개발되어 왔다. 실리콘 단결정을 습식법에 의한 이방성 식각(wet-chemical anisotropic etching) 또는 저압 플라즈마(Low-pressure plasma), 이온 빔 등 건식법(dry etching)의 기술로 가공하여 마이크로 메카닉스(micromechanics)와 마이크로 옵틱(micro-optics) 등의 분야에 훌륭히 적용하고 있는 것이 그 예이다. 이러한 표면 미세구조 제작 기술(surface micromachining)은 압력센서, 가속도 센서 등의 분야에서 널리 응용되고 있다.

이와는 다르게 LIGA 기술에 의해 새로운 가공방법이 시도되고 있다. LIGA의 어원은 전체 공정을 구성하는 각 공정의 독일어 머리글자에서 따온 것으로 다음과 같은 3가지 공정에서 기인하고 있다. 식각(lithography, 독일어로 Lithographie), 도금(electroforming, 독일어로 Galvanofomung) 사출(molding, 독일어로 Abformung)의 공정이다. 결국 LIGA는 X-ray를 이용한 식각과 전기도금, 이를 이용한 사출공정을 의미하고 있다. LIGA라는 말이 쓰이기 전에도 이 공정과 유사한, LIGA 공정을 태동시킨, 공정이 개발되어 있었다. 1975년 IBM의 Romakiw 등이 처음으로 전기도금과 X-ray 식각기술을 결합시킨 공정을 시작한 것으로 되어 있다. 이들은 두께 20 마이크로톤의 레지스트를 X-ray를 이용하여 페터닝한 후 금을 전기 도금하여 고종횡비의 금속 구조물을 제작하였다. 이것이 LIGA의 기원이라고도 할 수 있다. 그러나 진정한 의미의 LIGA는, 사출 공정을 포함하는, 1982년 KfK의 Ehrfeld 등에 의하여 시작되었고 이름도 이들에 의하여 처음으로 불려지게 되었다. 사출공정을 더하여 이전의 방법으로는 실현하기 어려운 대량생산의 방법을 제시하게 된 것이다. 즉 이 공정이 세상에 알려지기 시작한 것은 칼수루에 핵연구 센터(Kernforschungszentrum Karlsruhe or KfK)에서 처음으로 방사성 동위원소를 분리하기 위해 제작한 마이크로 톤 크기의 초소형 노즐을

LIGA 공정으로 제작한 이후라고 본다.

LIGA 공정은 3단계로 이루어져 있다. 1단계는 x-ray 식각 단계로 수백에서 높게는 수천 마이크로 정도의 높이를 갖는 폴리머 레지스트위에 Au X-ray 흡수체가 있는 마스크를 통해 X-ray를 조사한 후 현상과정을 통하여 폴리머 레지스트로 원하는 틀을 만드는 단계이다. 2단계는 도금 단계로 1단계에서 얻어진 폴리머 레지스트틀에 금속을 도금하는 공정이다. 전기도금법을 쓰기 위해서는 1단계 이전에 금속 씨앗 층을 미리 만들어 주게 된다. 도금후 남아 있는 폴리머 레지스트는 제거하여 금속으로 이루어진 틀이 만들어지게 된다. 3단계는 2단계에서 만들어진 금속 틀을 금형으로 이용하여 플라스틱을 사출하는 공정이다. 대개 1개 금속 금형으로 수백에서 많게는 수십만개까지의 동일한 플라스틱 사출이 이루어 질 수 있다. 또한 3단계에서 만들어진 플라스틱 사출물을 틀로 사용하여 금속구조물을 다시 만들 수도 있다. 그림 1은 LIGA 공정의 개략적인 설명도이다.

본 고에서는 공정 자체를 처음 접하는 이들의 이해를 돕기 위해 본문에서는 제 1 장에 X-ray 식각 및 방사광에 대하여, 제 2 장은 X-ray 마스크에 관하여, 제 3 장은 전기도금에 관하여, 제 4 장은 사출기술에 관하여, 제 5 장에 각국의 연구 현황 및 응용분야에 대하여 마지막으로 결론 부에 향 후 전망에 대해 기술하였다.



〈그림 1〉 LIGA 공정의 개략도

## II. 본 문

### 1. X-ray 식각 및 방사광

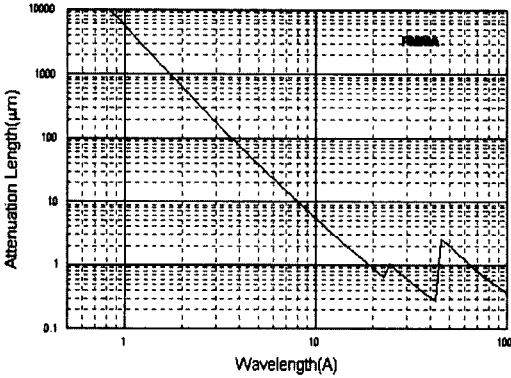
LIGA 공정의 장점은 두께가 매우 두꺼우면서도 고정밀의 형상을 얻을 수 있다는 것이다. 이를 위해서는 매우 작은 퍼짐 특성과 Fresnel 회절효과를 작게 하기 위하여 짧은 파장을 유지하는 광원이 있어야 한다. 또한 레지스트가 두껍기 때문에 짧은 파장이 절대적으로 요구된다. 또한 공정 시간을 줄이기 위해 높은 강도의 특성도 아울러 가져야 한다. 위의 요구조건들은 방사광을 얻을 수 있는 저장링에 의해 쉽게 얻을 수 있고 기본 원리는 매우 간단하다. 전자나 양전자가 매우 빠르게 가속되어 저장링안에 주사되어 회전할 때 궤도의 접선 방향에서 전자기파가 발생되는데 이를 방사광이라 한다. 그림 2는 포항 가속기의 경우로 이러한 저장링 및 이에서 발생하는 빔의 유도를 위한 빔라인의 도식적인 형상을 보여주고 있다. 전자빔은 저장링(보통  $10^{-9}$  torr 정도로 유지)내를 빛의 속도에 가깝게 돌게 된다. 이러한 전자가 타원형의 저장링을 손실없이 회전하기 위해 휨자석(bending magnets : dipole)이 링주위에 많이 위치하고 있다. 많은 빔라인들이 빔소스들(dipoles)로부터 실험장비까지 이어져 있으며 이 또한 진공으로 유지되고 있다. 저장링으로부터 나오는 빔의 특성은 회전하는 입자의 에너지, E, 전류, I, 자장(magnet field), B에 의해 달라지며 저장링에서 나오는 총 에너지 P는  $BE^3I$ 에 비례하게 된다. 저장링으로부터



〈그림 2〉 포항 방사광 가속기의 구성

얻을 수 있는 방사광은 적외선(10,000 nm)

영역에서부터  $\gamma$ 선(0.001 nm)영역까지 매우 넓은 파장대역을 갖고 있다. X-ray lithography란 이런 파장 영역중 X-ray 영역(0.1 - 20 Å)의 파장을 이용하는 것이다.



(그림 3) PMMA의 파장에 따른 감쇠 특성 곡선

그림 3.은 X-ray 레지스트로 많이 쓰이는 PMMA(polymethylmethacrylate)의 파장에 따른 감쇠(attenuation) 특성을 보여주고 있다. 그림 3.으로부터 레지스트의 두께에 따라 요구되는 파장 범위를 개략적으로 알 수 있게 된다.

X-ray용 레지스트를 노광하여 미소구조물을 만들고자 할 때 노광 후 현상이라는 공정을 거치게 되며 이때 레지스트에 축적된 X-ray does의 양에 따라 현상 가능여부 및 정밀도 등이 결정되게 된다. 문헌에 의하면 PMMA의 경우 하층부(Bottom of PMMA)에서 축적되는 양이 2~4 kJ/cm<sup>3</sup> 정도가 되어야만 충분히 현상이 일어날 수 있다고 보고되고 있다.<sup>[1]</sup> 이때 PMMA의 상층부(Top of PMMA)에 축적되는 에너지는 15~20 kJ/cm<sup>3</sup>을 초과하면 안되는 것으로 알려져 있다. 이보다 많은 양의 does가 축적되면 PMMA 자체가 변형(foam 이 형성)되고 이와 함께 수백 마이크로 떨어진 마스크에도 피해를 주며 노광되지 않아야 할 부분까지도 피해를 주기 때문이다.

축적된 does는 레지스트 재료에 흡수된 에너지와 관계되며, 방사광의 스펙트럼, 레지스트 재료의

흡수 계수, 방사광이 지나는 경로 상에 놓이는 흡수체들(예를 들면 X-ray window)에 의해 그 값이 변화하게 된다.

예를 들어 레지스트 재료가 시간 t 동안 파장  $\lambda$ , 면적당 power P/A의 빛에 의해 노광되었다면, 깊이 z 에서의 흡수된 does는 식 (1)으로 나타낼 수 있다.

$$D(z) = \mu(\lambda) \exp[-\mu(\lambda)z] \cdot \exp[-\sum \mu_a d_a] \\ = \mu(\lambda) \exp[-\mu(\lambda)z T(\lambda)] \quad (1)$$

여기서

$\mu(\lambda)$  = absorption coefficient of the resist material

$\mu_a$  = absorption coefficient of the absorber material

$d_a$  = thickness of the absorber material

$T(\lambda)$  : modulation factor

여러 가지 파장을 가지는 방사광의 경우는 몇 가지 고려해야 할 것이 있다. 방사광의 파장별 강도 분포(spectral distribution), 흡수체의 파장별 필터 특성, 노광장비의 구성(geomerty of exposure set-up) 등이다. 노광장비의 구성이란 방사광이 거의 선의 형태로 나오기 때문에 일정한 면적을 노광하기 위해서는 방사광에 수직방향으로 구성되어 있는 레지스트와 마스크를 위 아래로 움직여 주어야 하기 때문에 고려되어야 하는 인자이다. 식(2)에 의해 방사광일 경우 레지스트 축적된 does의 양을 구할 수 있다.

$$D(z) = 1.421 \cdot 10^{-16} \left(\frac{1}{E_0}\right)^2 \frac{1}{r^2} \frac{1}{RT} \frac{D_B}{H} \int_0^r (E_{\max} f(t))^2 \\ \times \int_{\lambda_{\max}}^{\lambda_{\min}} G_3 \left(\frac{\lambda_c(t)}{\lambda}\right) \mu_{PMMA}(\lambda) \exp[-\mu_{PMMA}(\lambda)z] \cdot \\ \exp\left[-\sum_i \mu(\lambda) d_i\right] d\lambda dt \quad (2)$$

여기서

$D_B = \int_0^{r_B} I(t) dt$  = necessary exposure does

$D(z)$  = absorbed does

- $E_0$ =energy of the electron at rest
- $f(t)$ =change of the magnetic field with time  $t$   
( this is characteristic for a synchrotron, where the energy oscillates with time, it is 1 for a strage ring )
- $r_0$ =radius of the storage ring
- $R$ =distance between source point and resist layer
- $T$ =period of magnetic field change
- $I(t)$ =time-dependant electron current
- $T_B$ =time of exposure
- $H$ =scanning distance
- $\mu(\lambda)$ =absorption coefficient of the resist material
- $G_s(\lambda_c(t)/\lambda)$ =universal fuction which describes the spectral distribution of the synchrotron radiation
- $\lambda_c(t)$ =characteristic wavelength( this is time dependent for a synchrotron, for a storage ring  $\lambda_c(t)$  is constant )
- $\lambda$ =wavelength of the synchrotron radiation
- $\mu_{PMMA}$ =absorption coefficient of PMMA
- $z$  =depth of resist volume to be considered

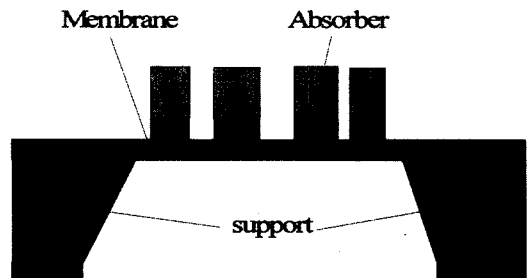
윗식에 의하여 노광하고자 하는 레지스트에 축적되는 X-ray does의 양( $D_{Top}$ : PMMA surface에 축적되는 does의 양,  $D_{Bottom}$ : PMMA의 bottom에 축적되는 does의 양, 단위  $J/cm^3$ )을 구할 수 있다.

2. X-ray 마스크

X-ray 식각을 위한 마스크는 X-ray source로부터 얻고자 하는 패턴의 상과 치수를 레지스트에 정확히 전달할 수 있어야 하고, 또한 X-ray 조사시 X-ray의 높은 에너지에 의해 마스크가 변형 및 파괴되지 않도록 신뢰성 있는 설계가 이루어져야 한다. LIGA 공정에서 X-ray 마스크는 크게 두 가지 형태로 나눌 수 있는데 멤브레인 형태의 soft X-ray 마스크와 벌크형태의 hard X-ray 마스크이다. 마스크의 선택은 최종 구조물의 두께에 의해

결정되는데 그 이유는 최종 구조물이 두꺼워 지게 되면 짧은 파장의 X-ray를 장시간 노출 시켜야 하므로 그에 따른 X-ray 흡수체의 두께가 두꺼워져야 하기 때문이다. 예를 들어 500 마이크로 정도 두께를 노광하기 위해서는 수십 마이크로 정도의 X-ray 흡수체 두께가 필요하게 되고 이를 제작하기 위해서는 멤브레인 형태로는 곤란하고 벌크 타입으로 제작이 가능하게 된다.

그림 4.에 전형적인 멤브레인 형태의 마스크를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 멤브레인과 그것을 지지하는 지지대, 그리고 멤브레인위에 형성되어 있는 X-ray 흡수체 패턴으로 구성되어 있다. 마스크에 사용되는 멤브레인 재료는 X-ray를 잘 투과하여야 하고 수 마이크로의 두께로도 X-ray 흡수체를 지지할 수 있는 기계적 강도를 지니고 있어야 한다. 또한 X-ray에 대한 내성을 지니고 있어야 한다. 현재 멤브레인으로서 사용되는 재료의 종류 및 특성을 표 1.에 나타내었다.<sup>[2]</sup> 이중 가장 널리 사용되는 재료는  $Si_3N_4$  막인데 그 이유는 광투과도(optical transparency)가 Be나 Si에 비해 우수하고 영률(Young's Modulus)이  $3.36 \times 10^{12} dyne/cm^2$ 로서 Si( $1.3 \times 10^{12} dyne/cm^2$ )이나 BN( $1.8 \times 10^{12} dyne/cm^2$ )에 비해 높아 기계적 특성이 우수하기 때문이다. 그러나 X-ray에 의한 내성이 작다는 단점도 있다. X-ray 흡수체로는 Au, W, Ta 등을 사용하는데 X-ray에 대한 흡수율이 높기 때문이다. Au의 경우 도금에 의해 쉽게 패턴을 형성할 수 있기 때문에 많이 이용되고 있다. 이러한 Au 흡수체는 전기도금법을 사용하여 만들기 때문에 기판이 도전성이어야 한다. 따라서  $Si_3N_4$  등 절



(그림 4) Membrane type soft X-ray mask

〈표 1〉 X-ray 마스크용 기판 재료의 특성

	$\mu\text{m}$	$\text{W/cm}^\circ\text{K}$	$10^{-6}$		$10^{-12}\text{dyne/cm}^2$			
					$t_{50\%}$	$\kappa$		
Si	5.5	1.6	2.3	Low <sup>s</sup>	.007 <sup>T</sup>	1.3	Poor	1
$\text{Si}_3\text{N}_4$	2.3	0.2	1.8	Some	.05	3.36	Good	0.23
$\text{B}_4\text{C}$	6	4.9	2.9	Unknown	.0015	3.9	Unknown	2.95
BN	3.8	0.8	2.9	High	.10	1.8	Good	3.74
SiC	3.6	0.41	2.3	Low <sup>s</sup>	.20	3.8	Good	6.9
B	7.5	0.65	4.2	Unknown	.023	4.5	Unknown	10.6
C(Dia.)	3.0	6.55	1.2	Low <sup>s</sup>	.02	11.2	Good	20.2
Be	25	1.58	12.3	Unknown	.027	14.7	Bad	39

+ Maximum measured value mm thickness

$$\text{FM}_{\text{mat}} = t_{50\%} \times (t_{50\%} \times \kappa) \times t_{50\%} \times \text{U.T.S.} \times \text{Y.M.}$$

$$\text{FM}(\text{Figure of Merit}) = \text{FM}_{\text{mat}} / \text{FM}_{\text{Si}}$$

(FM does not include radiation damage to mask material or optical transparency)

<sup>s</sup> Presently under Test

# BN does not meet radiation damage requirements.

- $t_{50\%}$  : Thickness for 50% x-ray transmission at 8.33 Å
- $\kappa$  : Thermal Conductivity
- $\alpha$  : Thermal Expansion
- R.D. : Radiation Damage
- U.T.S. : Ultimate Tensile Strength
- Y.M. : Young's Modulus
- O.T. : Relative Optical Transparency

연성 멤브레인위에는 반드시 도전성 층(plating base)를 형성시켜야 하고 그 위에 형성된 레지스트 패턴에 Au를 도금으로 채우게 된다.

벌크형태의 경우는 얇은 막의 멤브레인 대신 Si 웨이퍼 기판 자체를 사용하고 그 위에 X-ray 흡수체를 형성시킴으로서 X-ray를 선택적으로 투과시키는 역할을 한다. 이 경우 Si 웨이퍼에 의한 X-ray의 흡수도 상당함으로 파장이 충분히 짧고 에너지 강도가 충분히 높은 경우 사용하게 된다.

### 3. 전기도금

LIGA 공정에서 가장 많이 연구되고 있는 도금 종류는 Ni 및 Ni 합금이며 그 외 Cu 와 Cu합금도 연구가 이루어지고 있다. Ni 도금이 많이 이용되는 이유는 고 종횡비의 미세 구조의 형성에 적합하며, 전착물 내에서도 작은 내부 응력을 나타내기 때문

이다.<sup>[3]</sup> 일반적으로 Ni 전기도금을 위해서 Ni sulfate와 Ni sulphamate를 사용한다.

LIGA 공정을 이용하여 제작하는 수백 마이크로 두께의 금속 미세 구조물은 수백 마이크로 에서부터 수 마이크로의 크기까지 한 기판 위에 서로 다른 폭의 패턴을 가지고 있다. 한 기판에 여러 크기의 패턴이 상존 하는 경우 도금시 두께 편차가 발생하고 또한 각 패턴의 특성이 다양해지는데, 이와 같은 현상이 발생하는 원인은 벌크 도금액에서부터 패턴 사이의 바닥에 있는 음극 표면에서의 물질 이동(mass transport)에 기인한 전류밀도 분포, electrode kinetics 및 농도 구배(concentration profile) 등이 원인인 것으로 보고되고 있다.<sup>[4]</sup> 이러한 문제를 극복하기 위해선 문제의 원인이 되는 물질 이동 현상의 기구 및 인자를 파악하고 이를 개선할 조건을 찾아야 한다.

물질 이동은 전극, 전해액 구성에서 전류의 흐름에 따른 제반과정을 고려할 때 전극 내에서의 전자의 이동이나 전극과 전해액 계면에 있어서의 전하이동반응 이외에 전해액 내의 물질 이동 과정을 고려할 필요가 있다. 전기도금에서 도금이 일어나는 금속 이온은 대류(convection), 확산(diffusion), 이동(migration)의 세 가지 방법에 의하여 전해조에서 전극 표면까지 전달된다. 그 중에서 전해조에서의 확산은 금속 이온의 양이 충분하므로 무시할 수 있으나, 고 중형비를 갖는 LIGA 구조의 전기도금에 있어서는 대류에 의한 금속 이온의 흐름이 깊은 갭의 바닥까지 닿을 수 없으므로 확산층의 두께가 커지게 된다. 따라서 한계 전류 밀도의 크기는 크게 낮아지고 이용 가능한 전류 밀도는 낮아지게 된다. 결국, LIGA 구조물의 도금시 율속 단계는 금속 이온의 확산이 된다. 그림 5는 물질이동 효과를 도식적으로 나타낸 것이다. 폭이 좁고 깊은 형상을 도금할 때 어떠한 방법으로 금속이온의 확산이 원활하게 일어나게 할 수 있는가가 LIGA 구조물 같은 고중형비 도금의 어려움을 극복하는 길이라 할 수 있겠다.

K. Leyendecker<sup>[4]</sup> 등은 RME(Rotating Microstructure Electrode)을 이용하여 구조물의 형상 인자에 따른 한계 전류 밀도 및 확산 거리의 변화를 측정하여, 구조물의 높이가 증가할수록, 폭이 작아질수록 금속 이온의 대류가 물질 전달에 기여하는 정도가 감소함을 연구하였고, LIGA 구조에서의 전기도금의 어려움 즉, 폭 넓이에 따라

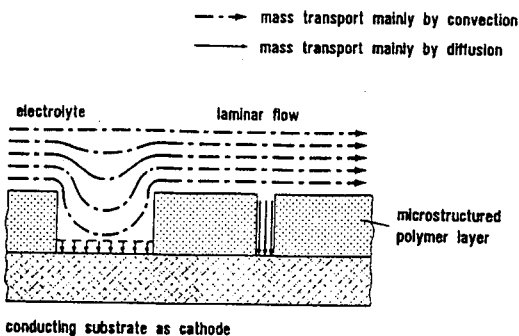
변하는 전착물의 두께 및 물성 변화 등을 다음과 같은 방법으로 줄일 수 있다고 제안하였다. 그것은 물질 전달의 차이를 최소화하기 위해서 도금이 속도론적 제어 영역에서 이루어지도록 전류밀도 대 한계 전류 밀도의 비를 조절해야 하는 것이며, 적절한 대류 과정이 필요하다는 것이다. 이에 더하여 전기 도금 시 전류 및 전압인가 방식의 변화가 필요하다고 하였다. 변화된 방법에 의하여 향상된 결과의 보고도 나오고 있다.<sup>[5,6]</sup>

#### 4. 사출 기술

LIGA 공정 중 도금 공정만으로도 미세 구조물이 완성될 수 있다. 그러나 그것만으로는 제품에 비해 제조단가가 높을 뿐 아니라 양산성 있는 공정은 될 수 없다. 이러한 단점을 극복하기 위해 LIGA 공정은 사출 공정이라는 값싸고 양산성이 높은 방법을 제시하고 있다.

LIGA 공정에 사용되는 사출기는 표준 인젝션 사출 방식을 응용한 것이다. 그러나 주의할 사항으로 일반적인 사출에서 사용되는 저온 재료는 마이크로 금형틀 내의 매우 좁은 공간에서 쉽게 응고되기 때문에 다양한 온도 변화를 가지는 방법이 마이크로 사출에 사용되어야 한다. 공정 초반에는 금형틀의 온도를 사출 재료의 용점 부근까지 올려야 하며, 그 후 사출 재료가 충분한 강도를 가지고 금형 틀로부터 분리 현상이 일어날 때까지 낮추어 져야 한다. 또한 재료를 채우기 전에, 일반적인 인젝션 사출 공정과 같이 슬릿을 통한 잔류 공기가 빠져나가는 것이 여의치 못하기 때문에 금형 틀의 공간은 진공상태를 유지해야 한다.

사출재료의 요구조건은 고 중형비 구조를 채울 수 있을 정도의 특성들을 가져야 하며 동시에 고 중형비 구조 형성의 안정성을 만족시켜야 한다. 고분자를 금형 틀에 넣어 형상을 얻고자 할 때 경화된 고분자와 금형 사이의 들러붙는 현상(form-locking)이 일어나지 않도록 금형 내면이 매우 매끄러워야 하며, 이를 위해 내부에 이탈제(internal mold release agent)를 사용하기도 한다. 사용되는 폴리머 종류로는 PMMA, Polycarbonate, Polyamide, Polyethersulfone, Polyoxymethylene,



(그림 5) 물질 이동 효과

Polyvunylidene fluoride, Epoxy resin 등이 있다.

고종횡비를 갖는 미세 구조를 제작하는데 있어 금형 틀 내벽의 표면 거칠기는 매우 중요한 인자이다. PMMA 레지스트로 X-ray 식각에 의한 금형 틀 제조 후 Ni을 전기 도금하는 전형적인 공정에서 평균적인 표면 거칠기는 50nm이하이다. 이는 마이크로 몰딩을 하기에 충분한 수치이다. 통상적인 기계가공에 의해 제조한 금형 틀은 마이크로 몰딩의 금형 틀로 사용하기에는 부적합하였다. 왜냐하면, 금형 틀로부터 사출물을 결합 없이 분리하는 것이 불가능하기 때문이다.

LIGA 공정에는 폴리머 재료뿐만 아니라 세라믹 재료도 쓰이고 있다. 세라믹 재료로 구조물을 제조하려고 할 때는 마이크로 사출 방법에 의해 기초적인 플라스틱 구조를 제작하는 것을 시작으로 한다. 이 기초적인 플라스틱 틀은 세라믹 슬러리로 나중에 채워지고 고분자 분해 반응 또는 산화 반응에 의한 세라믹 소성 공정 동안 제거되는 것이다. 지르코니아, 알루미늄, 압전 재료인 PZT등이 많이 연구되고 있다.

## 5. 각국의 연구 현황 및 응용 분야

### (1) 각국의 연구 현황

#### - 유 럽

독일의 경우 LIGA 기술을 태동시킨 나라일 뿐 아니라 가장 연구가 활발하고 유럽지역의 기술 발전에 큰 역할을 하고 있다. KfK 및 IMM (Instiutte of Microtechnology Mainz GmbH)을 중심으로 LIGA 관련 연구가 진행되고 있다. 1982년 X-ray 식각 기술과 전기도금 기술을 이용하여 방사선 동위원소 분리를 위한 마이크로 노즐을 제작했고, 1985년에는 LIGA 기술을 이용하여 고종횡비를 갖는 미세구조물(가속도 센서용 Mass, 필터류, 광학용 부품)을 제작했다. 1990년에는 회생 층을 이용하여 움직이는 미세기어를 제작하였다. 이후로 연구가 계속되어 두 개의 마스크를 사용하여, 또는 사출기술을 이용하여 2중층 구조의 형상을 제작하였다. 기업체로서 Micropart, Degussa, Jenoptik, Siemens 등이 이 연구에 참여하고 있으며 특히 Micropart사는 KfK로부터 기술

을 이전 받아 의료(의료용 필터), 자동차(가속도 센서) 및 광학분야(커플러 및 스펙트럼미터)의 응용 제품개발을 하고 있으며 일부 제품도 선보이고 있다.

영국의 경우는 다소 늦은 1993년부터 연구를 시작하였으나 기업의 호응이 매우 높아 활발한 연구가 진행되고 있다. 현재는 유럽연합의 재정적 지원 (Human Capital and Mobility Program)과 IMM의 기술적 지원아래 자동차, 통신, 핵 분야에 5개의 대형 프로젝트가 진행되고 이에 10개 대학 및 30개 업체가 참여하고 있는 것으로 알려져 있다.

소련의 경우 Budker INP(Budker Institute of Nuclear Physics)를 중심으로 연구가 진행되고 있다. 1980년에 이 연구를 시작한 것으로도 알려져 어찌면 세계 최초로 시작했을 가능성도 있으나 정확히 알려지지는 않고 있다. 연구목표는 미소 전자 칩(Microelectronics chip)의 양산이라 알려져 있으며 현재 가장 많이 연구되고 있는 분야는 의료 분야에 응용하기 위한 폴리머 미세 공공 멤브레인(polymer microporous membrane)이다.

이외에 프랑스, 이태리, 스위스 등에서도 활발한 연구가 이루어지고 있다.

유럽의 연구기관들과 대학들은 이 분야에서 기초연구와 제품개발에 필요한 연구를 동시에 추진하고 있다. 기초연구 결과를 연구기관으로부터 산업체로 이전하는 활동은 유럽 공동체와 국가정부로부터 지원을 받아 추진되고 있다.

#### - 미 국

위스콘신 대학에서 1980년대 중반에 처음 시작하였지만 지금은 잘 정립된 국가 프로그램 안에서 매우 체계적으로 진행되고 있다. 그 프로그램 중 하나가 Hi-MEMS(High Aspect Ratio MEMS) Alliance로 TRP(US Government's Technology Reinvestment Project)의 재정지원과 가속기 연구소, IC design & fabrication 센터 등의 기술적 지원아래 프로그램이 진행되고 있다. 연구 목표는 의료 및 기억소자에의 응용 제품 개발이며 IBM, IEP, TVJ등의 업체와 MCNC(Microelectronics Center of North Carolina), CAMD(Center for Advanced Microstructure and Device), 루이지에

나 대학의 IfM(Institute for Micromanufacturing), Wisconsin 대학 등 많은 연구소 및 대학이 참여하고 있다. 특히 MCNC에서는 MultiProject LIGA라는 프로그램 안에 LIGA 공정을 수행해 주는 역할을 두고 LIGA 기술의 발전에 일조하고 있다.

서부지역의 경우 LBL(Lawrence Berkeley Lab.), JPL(Jet Propulsion Lab.), SNL(Sandia National Lab.)이 팀을 이뤄 기술 발전에 힘을 쓰고 있으며 현재의 연구 방향은 기초연구 외에도 응용 분야로 우주 항공분야에의 응용을 위해 고종횡비 그리드(high aspect ratio grid structure) 구조 제작에 역점을 두고 있다. 이 팀은 SSRL(Stanford Synchrotron Radiation Lab.)과 공동연구를 통해 2mm 구조물의 제작에도 성공하고 있다.

#### - 국 내

국내의 경우 1994년부터 전자부품종합기술연구소에서 LIGA 기반 기술 개발을 위한 연구를 시작하였고 국내 가속기(포항 가속기)를 이용한 연구

는 1997년부터 시작되었다. 아직은 시작단계라 기초 기술 확보에 주력하고 있는 실정이다. 지금까지의 연구는 기초 분야로 전체 공정 확립을 위한 단위 공정(마스크 제작 기술, X-ray 식각 기술, 도금 기술) 기술확보를 위해 연구를 진행하고 있다. 응용분야확대를 위해 광부품 및 액츄에이터 제작을 위한 간단한 구조체 제작도 수행하고 있다.

국내에서도 기술의 중요성을 인지하여 선도기술 개발 사업의 일환으로 1995년부터 초소형 정밀기계 개발 프로그램이 추진되고 있으며 이 프로그램 내에서 LIGA 기술의 개발이 진행되고 있다. 기술 개발의 목표는 공정 서비스를 하는 것이며 계획대로라면 1998년 이후부터는 국내에서도 LIGA 공정 서비스가 가능해져 응용분야 확대에 크게 기여할 것으로 보인다.

#### (2) 응용 분야

이와 같은 LIGA 기술을 이용할 때 창출될 수 있는 시장은 매우 방대할 것으로 예측되며 표 2에 현재까지 제안되고 있는 LIGA 기술을 이용한 생상품 및 그 시장을 정리하였다.

(표 2) LIGA 기술을 이용 가능한 제품 및 잠재 시장

Product	Market
- Sensor components Acceleration, Flow, Torque, Position, Angle, Ultrasonic, Humidity, Gas	Automotive Engineering
- Microactuators/Micromotors Valve, Valve array, Switch, turbines, Gears	Precision Engineering
- Fluid components Mixing system, Nozzle plates, Fuel injection nozzle, Ink jet print nozzle,	Mechanical Engineering
- Components for microelectronics Microconnector, Heat sink for chip, Lead frame, Microelectrode, Reflection grid	Information and Communication Tech. Optics
- Components for microoptics WDM, Optical waveguide, Coupler, Fiber-chip coupler	Microelectronics
- Micromechanical components Joint, Spring, Bearing, Gearwheel	Power Engineering
- Microfiltration components Isoporous membrane, Cross-flow filter, Microimpactor	Process Engineering/Technology
- Microstructured layers Catalyst carrier, Contact materials, Wear protection, Electrode for fuel cell	Measuring Technique
	Medical and Biological Engineering
	Environmental Technology
	Aerospace Technology



### III. 결 론

지금까지 LIGA 기술 및 그 발전 동향에 대해 알아보았다. LIGA 기술은 크게 보아 그 자체 기술의 확보에 따른 장점도 갖추고 있지만 이를 이용한 응용분야에 적용됨으로써 제조 공정을 간단히 한다던가, 양산성을 높인다던가, 새로운 개념의 상품 개발조차 가능해진다는 장점과 함께 다양한 응용분야에서도 보았듯이 타 분야에의 기술적 파급 효과가 매우 큼을 알 수 있다. LIGA 기술은 한 분야의 기술로 이루어지는 것이 아니라, 학문적으로는 재료, 전자, 전기, 화학, 기계 및 시스템등 복합적인 지원이 있어야 가능하며 이에 따라 이러한 분야의 발전도 함께 기대할 수 있다.

국내의 경우, LIGA 기술에 대한 기반은 현재로서는 일천하다고 볼 수 있다. 그러나 LIGA 기술에 대한 기반을 빠른 시일 안에 갖추 수 있는 여건은 충분히 갖추고 있다고 볼 수 있다. 그 이유는 LIGA 기술을 구성하고 있는 요소들을 살펴보면 알 수 있다. 도금기술의 경우, 국내에서는 아직까지 LIGA기술에서 요구하는 고종횡비를 해본 경험은 아직 없으나 이는 필요성에 의해 서지 기술상의 난맥은 아닌 것으로 판단된다. 또한 정밀사출의 경우, LIGA 기술에서 행하고 있는 방법도 일반 사출방법에서 크게 벗어나지는 않는 것으로 알려져 있다. 다만 사출하는 크기가 작아짐으로서 진공기술을 도입하여 행해지고 있으므로 이에 따른 사출 변수를 조절하는 것으로 알려져 있다. 국내의 경우, 정밀사출에 대한 경험을 가지고 있는 기업 및 연구소 등이 있어 LIGA 기술에 필요한 정밀사출 기술도 해결될 수 있다고 본다. 다만 이러한 기술을 가질 수 있는 전제조건이 X-ray 식각 기술을 확보해야 한다는 것이다. 식각기술에는 마스크 제작 기술, 정렬 기술, X-ray 빔 이용 기술, 현상 기술등 많은 기술적 난제가 존재하고 있지만 실리콘 가공기술에서 얻은 기술을 활용한다면 빠른 시간 안에 극복할 수 있으리라 보인다.

이 기술은 아직 시작하지 얼마 안되어 기술격차를 줄일 수 있는 방법이 많이 있으며, 특히 응용부

분이 매우 많아 아이디어에 의한 격전장이 될 것으로 보이는 분야로 우리에게는 매우 유리한 분야이다.

### 참 고 문 헌

- (1) J. Mohr, "The LIGA process : a Microfabrication Technology with Applications in Medical Devices", Proceeding of the International School of Physics Course CXXVIII, E. Burattini and A. Balerna(Eds.), ISO Press, Amsterdam, p181, 1996.
- (2) J.R. Maldonado, "X-ray Lithography - An Overview", SPIE, Vol. 1465, p6, 1991.
- (3) E.W.Becker, W.Ehrfeld, P.Hagmsnn, A. Maner and D.Munchmeyer, "Fabrication of microstructures with high aspect ratios and great structural heights by synchrotron radiation lithography, galvanofforming, and plastic molding(LIGA process)", Micro-electronic Engineering, Vol.4, p35, 1986.
- (4) K.Leyendecker, W.Bacher, W.Stark and A. Thommes, "New microelectrodes for the investigation of the electroforming of LIGA microstructure", Electrochimica Acta, Vol.39, No.8/9, p1139, 1994.
- (5) D.Sander, R.Hoffmann, V.Relling and J. Muller, "Fabrication of Metallic Microstructure by electroplating using deep-etched silicon molds", J. Microelectromechanical Systems, Vol.4, No.2, p81, 1995.
- (6) V.B.Singh and R.S.Sarabi, "Physical properties and structure of electrodeposited nickel form sulphamate-chloride-ethyleneglycol bath", Materials Science and Technology, Vol.11, No.3, p317, 1995.

## 저 자 소 개



朴 淳 燮

1964年 1月 20日生

1986年 2月 고려대학교 공과대학 금속공학과 졸

1988年 2月 KAIST 재료공학과 졸(석사)

1992年 2月 KAIST 재료공학과 졸(박사)

1992年 3月~현재 전자부품종합기술연구소 부품연구 2팀 선임연구원

주관심 분야 : X-ray Lithography, LIGA Process, Optical Components