

# 경 X-선을 이용한 마이크로 구조물 제작 Micro-structure Fabrication using Hard X-ray

\*김종현, #장석상

\*J. H. Kim, #S. S. Chang (sschang@postech.ac.kr)  
포항공과대학교 가속기연구소 빔라인부

Key words : Hard X-ray, LIGA, micro-structure

## 1. 서론

최근 초정밀 정밀 가공기술에 대한 시대적 요구에 따라 마이크로 방전가공, 레이저 가공, 마이크로 밀링 기술 등 많은 분야에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 마이크로 사이즈의 초소형, 초정밀 기기에 대한 시장의 요구에 따라 관련 기술들도 괄목할 만한 기술발전을 하고 있으나 기계 가공 기술로는 한계점에 달하고 있는 실정이다. 이러한 초정밀 가공 기술 중의 하나로써 경 X-선을 이용한 마이크로 구조물 형성 기술은 그 기술의 가능성에 대해서는 20 세기 말에 확인이 되었음에도 불구하고, 국내의 경우 현재까지 관심 및 홍보의 부족과 관련 인프라 구축의 한계 등으로 활발하다고 말하기는 어려운 실정이다. 또한, 이러한 경 X-선을 이용한 마이크로 가공기술의 경우 전통적인 기계가공 기술과는 달리 반도체의 사진식각 기술을 근간으로 하고, 가속기라는 거대 과학시설에서 파생되는 강한 세기의 X-선을 이용하여야 하기에 접근성이 용이하지 않았다. 그러나, 이러한 경 X 선을 이용한 정밀 가공기술은 그 광원의 특성에 따라 기존의 가공기술이 가지지 못하는 다양한 장점을 내포하고 있으므로 향후 보다 다양한 연구의 수행이 예상되는 분야이다. 본 연구에서는 국내 유일의 가속기 시설인 포항가속기연구소의 X-선 나노/마이크로 머시닝 빔라인에서 파생되는 경 X-선을 이용하여 다양한 마이크로 구조물을 제작하였고, 그 특성을 분석하였다.

## 2. 개요 및 장치

경 X-선을 이용한 마이크로 정밀가공기술은 지난 20 세기 말 독일에서 우라늄 분리용 노즐을 제작하는 과정에서 최초로 개발하였고, 그 근간이 되는 기술인 Lithography, Electroforming, Molding 의 독일어 약자를 합쳐 LIGA 로 명명되고 있다. 국내에서는 포항가속기연구소에 이러한 LIGA 공정을 수행하기 위하여 관련 시설과 빔라인을 설치하였고, 지난 1999 년부터 이용이 되기 시작하여 국내의 연구소, 대학에서 관련 연구를 수행하고 있다. 그림 1 에 LIGA 공정의 개요가 나타나 있다. 그림에서 표시된 바와 같이 LIGA 공정을 수행할 때 고휘도의 경 X-선의 직진성과 투과성을 이용하여 고품비의 마이크로 구조물을 제작하게 된다. 이 때 사용되는 X-선은 4keV 에서 20keV 의 에너지 대역으로써, 에너지가 높은 X-선의 경우 직진성과 투과성이 더욱 강하므로 수 mm 급의 두꺼운 구조물의 제작이 가능하다는 장점이 있다.

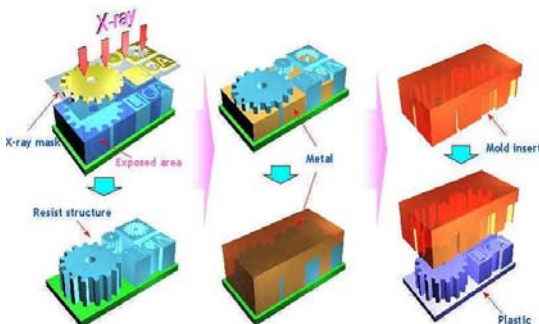


Fig. 1 LIGA process using hard X-ray



Fig. 2 Mirror system for high energy cut-off

그런 반면 보다 정밀하고, 낮은 두께를 지니는 구조물 제작시 높은 에너지의 X-선은 기관과의 산란을 통한 2 차 형광을 발생시켜 정밀도를 약화시키는 단점이 있다. 이러한 현상을 억제하기 위하여 10keV 이상 대역의 X-선을 차폐하기 위한 거울조정기 시스템을 설치하였고, 보다 나은 특성을 확인하였다. 그림 2 는 높은 에너지의 X 선을 거르기 위한 거울 조정기 시스템을 보여주고 있다. 기본적으로 X-선은 그 특성상 일반적인 가시광과는 달리 반사, 굴절 등 광 경로의 변경이 매우 어렵다. 따라서 거울조정기 장치에서는 Silicon block 의 표면을 매우 정밀하게 polishing 가공 후 용도에 맞게 전반사에 적당한 금속 박막을 증착하여 X-선이 거울에 입사시 임계 에너지 이하의 낮은 에너지의 X-선만을 반사시켜 높은 에너지의 X-선을 제거한다.

경 X-선을 이용한 마이크로 구조물의 제작은 기계적인 가공이 아니라 X-선을 이용한 식각의 방법을 이용하므로 가공후의 표면특성이 매우 우수하고, 대량 생산을 위한 금형 제작에 응용이 가능하다. 본 연구에서는 이러한 특성을 이용하여 BGA Test Socket 용 몰드 인서트와 방전가공용 마이크로 전극, X-선 집속용 다중굴절렌즈배열 등의 다양한 초정밀 구조물을 제작하고 특성을 평가하였다.

## 3. 마이크로 구조물의 제작

### 1) Micro Ball Grid Array(BGA) 용 구조물 제작

BGA Socket 금형은 메모리 반도체에 과열, 과전류와 같은 악조건하의 테스트를 통해 무결점 반도체를 출하하기 위하여 사용되고 있는 Test Socket을 성형하는 고정밀 금형이다. 이러한 정밀 금형을 제작하기 위한 가공 기술로는 일반적으로 정밀 연삭 가공, 방전 가공, 와이어 방전가공이 주로 사용된다. 그러나, 소자의 정밀도 향상을 위해서는 보다 정교한 차세대 금형 제조기술이 요구된다. 이러한 요구를 충족시키기 위하여 경 X-선을 이용하여 몰드 인서트와 방전가공용 전극을 제작하고자 하였다.

먼저, X-선 마스크를 일반적인 사진식각공정을 통하여 제작하였다. 마스크 재질은 polyimide 이며, 그 위에 Cr/Au 층을 약 30/150nm 두께로 증착하였다. 이것은 강한 세기의 경X-선을 선택적으로 차폐하기 위한 Au 층을 두껍게 도금하기 위한 도금 씨앗층의 역할을 수행한다. 그리고, 여기에 SU-8 음성 감광재를 이용하여 패터닝을 수행하고, 마지막으로 Au 도금을 수행하여 X-선 마스크를 제작하였다.

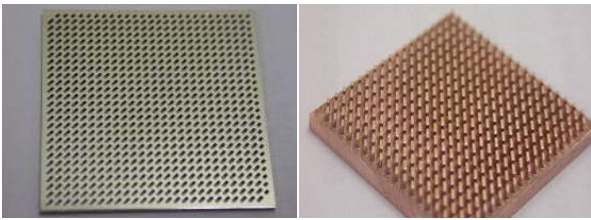


Fig. 3 Mold insert and electrode for BGA Socket application

제작된 X-선 마스크를 이용하여 포항가속기연구소의 9C X-선 나노/마이크로머싱 빔라인에서 X-선 노광을 실시하였다. 경X-선용 감광재는 1000 $\mu\text{m}$  두께의 PMMA 를 사용하였다. X-선 감광재의 현상 후 금속을 도금한 후 표면처리를 통해 구조물을 완성하였다.

그림 3은 제작된 최종 금속 구조물들의 모습이다. 몰드 인서트는 수백  $\mu\text{m}$  크기의 핀홀 배열들이 형성되도록 설계되었고, 용도에 따른 경도 확보를 위하여 Nickel 로 성형하였다. 전극의 경우는 Copper 를 이용하였고, 방전가공에 응용할 수 있도록 약 1000 $\mu\text{m}$  높이의 기둥 배열 구조로 제작을 하였다. 단위 픽셀의 크기는 약 300 $\mu\text{m}$  x 700 $\mu\text{m}$  내외의 크기이고, 공차는  $\pm 2\mu\text{m}$  이내가 됨을 확인하였다.

2) X-선 집속을 위한 고정밀 굴절렌즈 배열 제작

X-선은 매질이 대한 굴절률이 매우 작아 광 경로의 변경이 매우 어렵다. 따라서 이러한 X-선을 광학에 응용하여 광 경로의 변경 및 집속 등에 이용하기 위하여서는 초정밀 표면가공처리 후의 결정구조를 이용하거나, 금속박막의 다층구조를 이용하여야 하는 등 매우 복잡한 기술이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 방법들과는 달리 동일 방향으로 정밀한 복합 굴절렌즈를 다수의 배열을 갖도록 제작하는 방법을 통해 X-선 집속이 여타의 회절이나 다층구조를 이용한 고가 광학장치의 이용없이 가능하게 하기 위한 렌즈를 제작하기 위하여 경 X-선을 이용하였다.

이러한 복합굴절렌즈 배열은 약 3000  $\mu\text{m}$  의 두께를 지니는 PMMA 에 100~400  $\mu\text{m}$ 의 직경을 지니는 원형 혹은 타원형 내지 에너지 수차를 보정하기 위한 보다 정교하고 다양한 형상을 지니는 핀홀의 배열을 가지도록 가공하면 이용이 가능하다. 이 경우 X-선 마스크의 재질을 polyimide 를 이용하는 것보다는 Silicon 을 사용하는 것이 X-선 노광시 발생하는 열에 의한 패턴 왜곡에 대해 보다 유리하다는 판단 하에 Silicon 을 300  $\mu\text{m}$  로 가공한 후 앞선 방법과 유사하게 X-선 마스크를 제작하였다. 이러한 렌즈 배열이 한 방향으로만 되어있다면 공간상의 X-선은 선집속이 되며, 직교하는 2 방향의 렌즈배열이 있을 경우 점집속도 가능할 것이다. 따라서 본 연구를 수행하면서 1 차원 집속 및 2 차원 집속을 위한 복합굴절 렌즈를 각각 제작하였다. 1 방향으로의 집속렌즈와는 달리 2 방향으로 집속이 가능한 2 차원 복합굴절렌즈의 제작을 위하여서는 X-선 노광을 직각방향으로 렌즈의 크기와 배열을 고려하여 정확하게 정렬하여 노광하는 기술이 요구되는데 그러한 정렬을 위하여 경 X-선을 이용하여 같은 크기의 정렬 홀을 제작하는 방법을 이용하였다. 다음 그림은 제작된 1 방향 및 2 방향으로의 복합굴절렌즈의 전자현미경 사진이다.

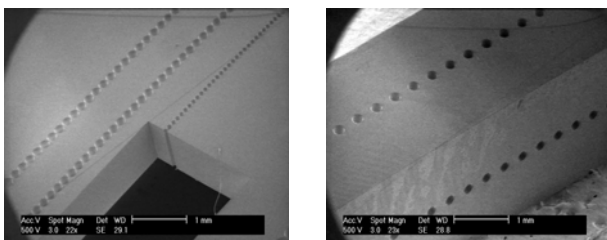


Fig. 4 1-D and 2-D Compound X-ray lens array

3) 기타 다른 마이크로 구조물의 제작

경 X-선을 이용하여 앞서 언급한 기관으로부터 수직방향으로 형성된 구조물 외에 보다 다양한 형태의 마이크로 구조물을 형성하고자 하였다. 표면조도가 우수한 경사진 구조물 및 원형, 타원형의 형태를 갖는 구조물을 비롯하여 피라미드 구조, 사다리꼴 형태를 갖는 마이크로 구조물의 형성을 위한 실험을 수행하였고, 제작된 구조물이 그림 5에 나타나 있다.

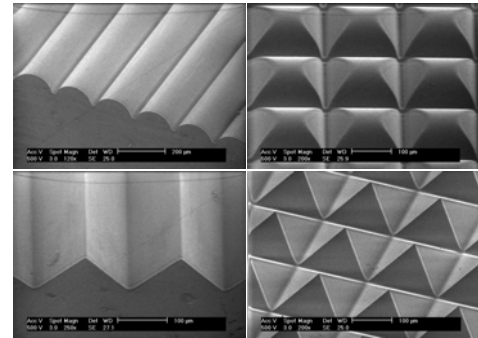


Fig. 5 Various micro-structures using hard X-ray

4. 결론

본 연구에서는 경 X-선을 이용한 다양한 마이크로 구조물의 제작을 수행하였다. 주로 사용되는 X-선 감광재인 PMMA 구조물 자체가 소자로 활용 가능한 경우뿐만 아니라 전주도금을 통한 실제적인 구조물의 대량 생산에 가능하도록 금속으로 이루어진 몰드 인서트 및 미세 전극도 제작하였다. 이러한 경 X-선을 이용한 가공 기술은 그 정밀도 및 가공 표면의 조도가 매우 우수하여 차세대 가공 기술로써 가능성이 충분하며 향후 보다 많은 응용 연구가 수행될 예정이다.

참고문헌

1. T.E.W. Becker, et al., "fabrication of microstructures with high aspect ratios and great structural heights by synchrotron radiation lithography, galvanofarming, and plastic modeling (LIGA process)," Micro-electronic Engineering, Vol. 4, pp.35-56, 1986.
2. BONG-KEE LEE, et al, "A New Fabrication Process of High Aspect Ratio Nickel Mold Insert by a Modified LIGA Process" HARMST '2005 Conference, June, 2005
3. Sang Jun Moon, Seung S Lee, "A novel fabrication method of a microneedle array using inclined deep x-ray exposure", J. Micromech. Microeng, Vol 15, p903-911, 2005
4. Young-Min Shin, et al, "Microfabrication of millimeter wave vacuum electron devices by two-step deep-etch x-ray lithography", App. Phys. Lett, Vol 89, 091916, 2006