

LIGA공정을 이용한 정밀 미세 격벽(barrier ribs) 성형용 금형 제작

조 진우*, 홍 성재, 박 순섭
전자부품연구원

Ultra-fine barrier ribs manufactured by LIGA process

Jin-Woo Cho*, Sung-Jae Hong, Soon-Sup Park
Korea Electronics Technology Institute

Abstract - 본 연구에서는 새로운 개념의 초정밀 가공 기술인 LIGA 기술(이하 X-선 가공기술이라 함)을 이용하여 정밀 격벽(barrier ribs) 성형용 Ni 금형을 제작하였다. 먼저 X-ray 투과도가 우수하며 내구성 및 기계적 강도가 뛰어난 새로운 재질의 graphite X-선 마스크를 제작하였으며 한정된 단위면적의 X-선 마스크를 이용하여 X-선 노광 면적을 최대화 할 수 있는 새로운 X-선 exposure 기술을 개발하였다. 제작된 barrier ribs 성형용 초정밀 금형의 전체 size는 170mm X 130mm이며 pitch 간격은 110/55 μ m \pm 0.7 μ m 이다.

1. 서 론

최근 들어 광통신 및 display 분야의 산업이 급격히 발전하면서 초정밀 격벽 구조물은 PDP 하판 격벽 성형용 mold, wave guide, packaging을 위한 정밀 광섬유 정렬소자, microwave filter 등 다양한 분야에서 그 활용도가 기대되고 있다. 특히 PDP 하판 격벽 성형용 mold를 이용한 embossing 성형방법은 screen printing, sandblasting 등 지금까지 사용되고 있는 격벽 제작방식에서 나타난 정밀도, 양산성, 고가의 제작단가 등의 문제점을 극복할 수 있는 새로운 격벽 제작 방식으로 평가받고 있다. 현재 기계가공, 방전가공, laser 가공 등 다양한 가공 방식을 이용하여 정밀 격벽 성형용 금형을 제작하고자 시도하고 있으나 기존의 전통적인 가공방식은 가공 정밀도 한계로 인하여 성능 향상을 기대하기 어려우며 정밀 규격부품의 양산 또한 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 X-선을 이용한 초소형, 초정밀 가공 기술인 X-선 가공기술을 이용하여 정밀 격벽 array 구조를 갖는 금속 금형을 제작하였다. X-선 가공기술은 수 A의 파장을 갖는 X-선을 이용하는 기술로 광학적 용도까지 가능한 저울중도의 벽면 거칠기(수십A)를 가지면서 서브 마이크론의 정밀도(1 μ m이하)를 가지는 금형 및 3차원 구조물을 일괄 가공할 수 있는 기술이다. X-선 가공기술은 X-선을 이용하여 레지스트 틀을 형성하는 X-선 사진식각공정, 형성된 레지스트 틀에 금속을 도금으로 채워 넣는 (metalization) 전주도금공정, 금형을 이용하여 플라스틱제품을 제작하는 사출성형공정으로 이루어진다. 즉, 이 가공기술은 구조물 제작에 빛(X-선)을 이용한다는 점에서 반도체 공정과 유사하지만 제작할 수 있는 구조물의 높이가 수백 μ m~수 cm에 이른다는 점에 차이가 있다. 따라서 반도체 공정과 마찬가지로 일괄 양산 방식에 의해 제품의 균일성, 공정단순화, 성능 향상 및 가격 저평화가 가능하며 초소형 사출성형 시 발생하는 form-locking 현상이나 이형 시 발생하는 문제점을 감소시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 X-선 가공기술을 이용하여 제작된 정밀 금형은 플라스틱사출, ceramic pressing 등의 성형방식을 이용하여 정밀 격벽 구조물을 대량복제 할 수 있으며 제품의 정밀 규격화가 가능할 것으로 예상된다.

2. 본 론

2.1 X-선 마스크 제작

X-선 가공기술을 이용하여 제작한 정밀 격벽 성형용 Ni mold는 그 제작공정 상 장시간동안 X-선 노광에서도 견딜 수 있는 membrane 재질이 필요하다. 기존에 사용되던 SiN membrane의 경우 X-선 투과도 및 정밀도에 있어 우수한 성질을 보이는 것으로 확인되었으나 장시간 X-ray에 노출되었을 때 에너지 축적에 의한 stress 증가로 인해 membrane이 distortion 또는 파괴되는 문제점이 발견되었다. 따라서 기존의 SiN를 대체할 수 있는 새로운 membrane 재질로 X-ray 투과도가 우수하며 내구성 및 기계적 강도가 우수한 graphite를 사용하였으며 absorber로는 X-선 투과 억제 효과가 뛰어난 Au를 이용하여 X-선 마스크를 제작하였다. 그림 2.1.1은 본 연구에서 제작한 graphite X-선 마스크 제작공정을 나타내었다.

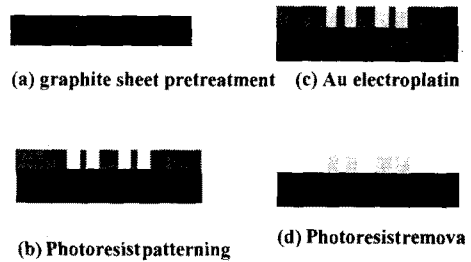


그림 2.1.1 graphite X-선 마스크 제작공정

상기 제작공정을 이용하여 정밀 격벽 성형용 mold 제작을 위한 X-선 마스크를 제작하였다. 제작된 X-선 마스크의 Au absorber는 미세 직사각형 array 구조로 이루어져 있으며 pitch 간격은 110/55 μ m이고 정밀도는 \pm 0.4 μ m이다. 그림 2.1.2는 제작된 graphite X-선 마스크의 외형 및 내부구조를 보여주고 있다.

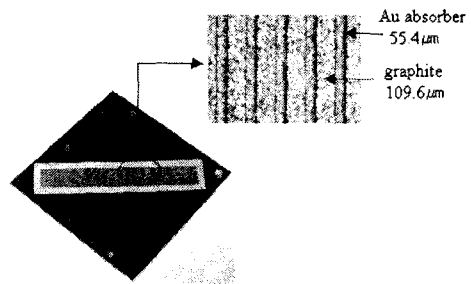


그림2.1.2 정밀 격벽 성형용 mold 제작을 위한 graphite X-선 마스크

제작된 graphite X-선 마스크는 X-선 lithography 공정에 투입되었다.

2.2 X-선 감광용 기판 제작

먼저 X-선 감광체인 PMMA sheet를 표면이 정밀 가공(표면 roughness: $\leq \pm 2\mu\text{m}$)된 5mm 두께의 haiss plate 위에 접합하여 제작하였다. 이때 haiss plate의 size는 190mm X 160mm이고 부착된 PMMA sheet의 size는 180mm X 140mm이며 표면 가공된 PMMA sheet의 두께는 $200\mu\text{m} \pm 2\mu\text{m}$ 이다. 그림 2.2.1은 X-선 lithography 공정에 사용될 기판 제작과정을 나타내고 있다. PMMA 접합용 기판은 후 공정에서 도금 base로 이용되므로 전도성을 가져야하며 X-선 exposure 및 Ni 도금공정 시 발생할 수 있는 stress에 의한 변형을 억제하기 위하여 고강도 재질인 haiss를 사용하였다.

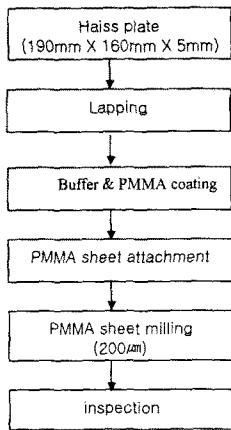


그림 2.2.1 X-선 lithography를 위한 기판제작과정

2.3 X-선 exposure 공정

상기 제작된 X-선 마스크와 X-선 감광용 기판을 이용하여 X-선 exposure 실험을 하였다. X-선은 포항가속기를 이용하였으며 beam energy는 2.5GeV이고 평균 전류 밀도는 110mA이다. X-선 마스크는 고정 지그를 이용하여 입사되는 X-선에 수직하게 고정하였고 X-선 노광용 기판은 정밀 stepper상에 지그로 장착하여 mask로부터 1mm 떨어진 위치에 놓이도록 설치하였다. 입사되는 X-선은 mask상에 patterning 되어있는 absorber 사이의 membrane을 투과하여 그 뒤쪽에 장착된 X-선 감광용 기판에 선택적으로 조사된다. 이때 stepper는 상하 방향으로 움직이면서 exposure 되도록 하였고 scanning 속도는 20mm/sec, scanning length는 16cm이다. PMMA 바닥에 일정량의 에너지가 축적되면 X-선 exposure는 끝난다. [1] 적정 exposure 시간은 PMMA 바닥에 $4\text{kJ}/\text{cm}^2$ 에너지가 축적될 때를 기준으로 하였고 이때 X-ray 마스크의 absorber 아래 부분에 위치하는 PMMA 상단면에는 일정 dose 미만의 에너지가 축적되도록 하였다. 그림 2.3.1은 X-선 exposure 시 감광체 두께에 따라 축적되는 X-선 에너지량을 보여준다. 일정면적에 대한 X-선 에너지 축적이 완료되면 정밀 stepper를 이용하여 기판을 X축 방향으로 일정거리 (70.125mm)만큼 이동시킨다. 그림 2.3.2는 본 연구에서 확립한 새로운 방식의 X-선 exposure 공정을 보여주고 있다.

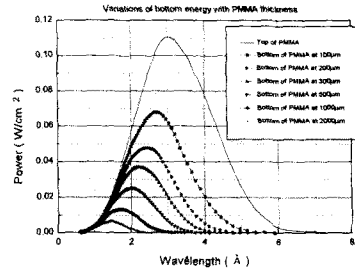


그림 2.3.1 각 두께별 PMMA 바닥에 축적되는 intensity

이때 이동 거리는 X-선 mask의 pattern 길이에 따라 정밀하게 control 되어야 하며 이동 후 같은 방식으로 X-선 exposure를 반복하였다. X-선 exposure 공정은 상기 방식을 이용하여 X-선 감광체 전체 면적을 3 부분으로 나누어 연속적으로 진행하였으며 exposure된 total 면적은 170mm X 130mm이고 두께는 $200\mu\text{m}$ 이다.

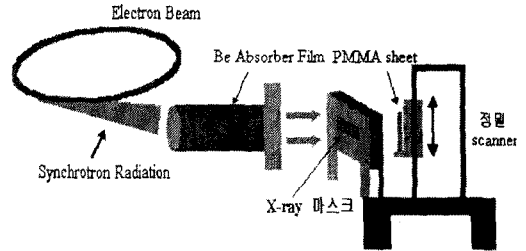


그림 2.3.2 포항가속기를 이용한 X-선 exposure 공정

2.4 현상공정

X-선 exposure 공정이 끝난 감광체 기판은 현상액을 이용하여 X-선에 의해 exposure된 부분을 선택적으로 식각하였다. 표 2.4.1은 develop 공정 시 이용된 현상액 및 rinse액의 조성을 보여주고 있다.

표 2.4.1 현상액, rinse1, rinse2 용액의 조성

성분	현상액	Rinse1	Rinse2
2-(2-butoxyethoxy)ethanol <chem>CH3(CH2)3OCH2CH2OCH2CH2OH</chem>	60%	80%	20%
morpholine <chem>H2NCH2CH2OH</chem>	20%	-	-
2-aminoethano <chem>C4H8ONH</chem>	5%	-	-
DI water	15%	20%	80%

이때 현상 시 균일성을 향상시키기 위하여 megasonic cleaner를 사용하였으며 현상결과 매우 정밀한 격벽 형상을 갖는 PMMA 구조물을 제작하였다. barrier ribs의 pitch는 $110/55\mu\text{m} \pm 0.6\mu\text{m}$ 이고 두께는 $197\mu\text{m}$ 이다. 그림 2.4.1은 X-선 감광체(PMMA) 현상 후 제작된 정밀 격벽 형상의 PMMA 구조물을 보여주고 있다.

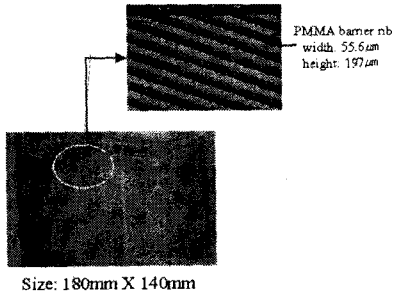


그림 2.4.1 X-선 광검체(PMMA) 구조물

2.5 전주도금공정

현상 후 제작된 PMMA 격벽 구조물은 다음 공정인 Ni 전주도금공정에 투입되었다. 현상이 끝난 PMMA 구조물의 바닥면은 전도성 재질인 haiss plate로 이루어져 있으며 현상 후 제거된 PMMA 부분을 Ni 전주도금으로 채워 주었다. 현상된 기판은 알칼리 탈지액과 10% 황산 용액에 각각 1분씩 침지하여 바닥면을 활성화시켰으며 사용된 도금액은 Ni-P를 사용하였다. Ni 도금층은 현상 기판의 바닥면에서 시작하여 PMMA 격벽 구조물의 벽면을 따라 성장하므로 도금된 Ni 구조물의 벽면 조도는 PMMA 구조물의 벽면 상태에 따라 결정된다. 본 연구에서 시도한 X-선 가공기술은 광학적 용도까지 가능한 벽면조도를 갖는 PMMA 구조물 제작이 가능한 기술로 제작된 Ni 구조물은 수십 Å의 벽면 조도를 갖는다. 도금 조건은 음극 표면으로의 물질이동에 기인한 전류밀도, electrode kinetics 및 농도구배 등 기초 실험을 통하여 도금 용력이 가장 적은 조건인 3~5A/dm²으로 하였고 이때 도금 속도는 0.3~0.5µm/min이다.[2] Ni 도금은 PMMA 격벽 구조물 높이인 200µm까지는 도금 stress를 최대한 억제하기 위하여 3A/dm²로 진행하였으며 PMMA 격벽 구조물을 모두 채운 후에는 5A/dm²로 전류밀도를 증가시켜 최종적으로 6mm 두께까지 Ni 도금을 하였다.

전주도금이 끝난 Ni 구조물은 기판으로부터 분리시킨 후 외각 및 도금층 뒷면을 가공하였다. 가공 후 Ni 구조물의 전체 size는 170mm X 130mm, 두께는 5mm이며 격벽의 pitch는 109.3/55.7µm, 정밀도는 ±0.7µm이다. 그림 2.5.1은 X-선 가공기술을 이용하여 최종적으로 제작된 정밀 격벽 성형용 Ni mold를 보여주고 있다.

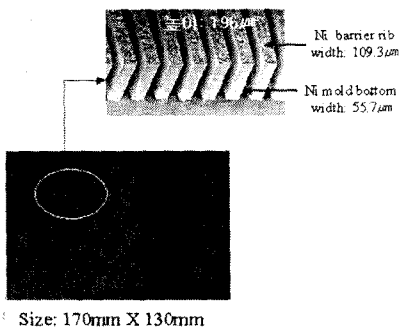


그림 2.5.1 정밀 격벽 성형용 Ni mold

3. 결론

본 연구에서는 신개념의 초정밀 가공기술인 X-선 가공기술을 이용하여 정밀 격벽 성형용 Ni 금형을 제작하였다. 기존의 SiN membrane을 대체할 수 있는 내구성 및 기계적 강도가 우수한 새로운 재질의 graphite X-선 마스크를 제작하였으며 한정된 면적(70.07mm X 10mm)의 X-선 마스크를 이용하여 X-선 노광 면적을 대면적(170mm X 130mm)화 할 수 있는 새로운 개념의 X-선 exposure 기술을 확립하였다. 제작된 격벽 성형용 Ni 금형의 정밀도는 ±0.7µm이며 기존의 전통적인 가공방식인 기계가공 및 laser 가공 등이 갖는 가공한계를 극복할 수 있었다. 벽면조도 또한 수십 Å로 경면에 가까운 벽면조도를 갖는 정밀 금형을 제작하였으며 이 금형을 이용하여 격벽 구조물 성형 시 이형이 용이하여 초정밀 제품의 양산 및 규격화가 가능할 것으로 사료된다. 표 3.1은 본 연구과제에서 각 공정별로 제작된 연구 결과물에 대한 spec. 및 정밀도를 나타내고 있다.

표 3.1 spec. 및 정밀도

분류	항목	설계값	측정값	정밀도
X-선 마스크	PR pattern	pitch	110/55µm, 109.7/55.3µm	±0.3µm
		height	18µm	
	Au absorber	pitch	110/55µm, 109.6/55.4µm	±0.4µm
		height	16.5µm	
현상	PMMA mold	pitch	110/55µm, 109.4/55.6µm	±0.6µm
		height	200µm, 197µm	3µm
전주도금	Ni mold	pitch	110/55µm, 109.3/55.7µm	±0.7µm
		height	200µm, 196µm	4µm

현재 제작된 Ni 금형은 대각선 기준 8inch로 자체 평가 결과 우수한 결과를 얻었으며 본 연구결과를 토대로 향후 25inch 격벽 성형용 정밀 mold를 제작할 계획이다. 향후 제작하고자하는 25inch 정밀 격벽 성형용 mold는 현재 FPD(Flat Panel Display)층 박질이 TV 분야에서 집중적인 관심이 모아지고 있는 PDP(Plasma Display Panel)의 하판 격벽 성형용으로 활용도가 기대되고 있다.

감사의 글

본 연구는 포항가속기의 도움으로 진행되었으며 실험에 도움을 주신 포항가속기에 다시 한번 감사를 드립니다.

(참고 문헌)

[1] J. Mohr. "The LIGA Process: a Microfabrication Technology with Applications in Medical Devices", "Enrico Fermi" Course XXVIII, E. Burattini and A. Balerna, ISO Press, Amsterdam, pp. 181, 1996

[2] K. Leyendeker, et al, Electrochimica Acta, Vol. 39, No. 8/9, 1994, p1139