

LIGA process를 이용한 micro CPL(Capillary Pumped Loop)제작

조 진우*, 정 석원, 박 준식, 박 순섭
전자부품연구원

manufacturing micro CPL(Capillary Pumped Loop)by using LIGA process

Jin Woo Cho*, Suk Won Jung, Joon Shik Park, Sun Seob Park
Korea Electronics Technology Institute

Abstract - We manufactured a micro CPL by LIGA process, a new conceptual ultra-fine and precise forming method, using X-ray lithography process. We fabricated a BN X-ray mask having properties of good X-ray transmittance and large mechanical strength. Micro CPL was manufactured by dividing into an upper plate and a low plate. Each of plates was bonded by Ag paste screen printing. The upper plate was fabricated on glass wafer to observe flow and phase transformation of cooling solution. The lower plate was manufactured by Cu electroplating for good heat transmission. Precision of inner Parts, micro pin and micro channel, of manufactured micro CPL is under $\pm 2\mu\text{m}$.

1. 서 론

micro CPL(Capillary Pumped Loop)은 전자부품의 Chip 또는 Package Level 냉각에 이용되는 micro cooler의 일종으로 최근 들어 점차 소형화, 고속화, 고 집적화를 목표로 개발되고 있는 PDA, 이동통신단말기, notebook PC CPU, ASIC package 등의 새로운 냉각 system으로 각광받고 있다. 열 제거능력이 $25\text{W}/\text{cm}^2$ 이상을 요구하고 있는 micro CPL은 micro pin($50\mu\text{m}$), micro channel($100\mu\text{m}$) 등으로 구성되어 있으며 그 구조의 복잡도 및 미세화로 인하여 일반적인 기계가공 방식으로는 구현이 어렵다. 현재 intel, 삼성 전자 등 국내의 대기업을 중심으로 mems 공정을 이용하여 제작을 시도하고 있으나 본 연구에서는 X-ray를 이용한 새로운 초소형, 초정밀 가공방식인 LIGA process를 이용하여 micro CPL을 제작하였다. LiGA process를 이용하여 micro CPL을 제작할 경우 공정 특성상 정밀한 구조물 제작이 가능하며 벽면 조도가 우수하여 냉매인 유체흐름이 원활하기 때문에 냉각효율을 극대화 할 수 있다.

X-ray 투과도 및 내구성이 우수한 BN membrane type X-ray mask를 제작하였으며 micro CPL을 각각 상판과 하판으로 나누어 제작한 후 접합하였다. 하판은 전도성 기판상에 PMMA(X-ray resist)sheet를 접합한 후 일정두께로 가공하여 제작하였다. 포항가속기에서 기 제작된 BN X-선 마스크를 이용하여 X-ray lithography공정으로 PMMA 구조물을 제작한 후 open area를 Cu 전도도금으로 채워 micro CPL 하판을 제작하였다. 상판의 경우 micro CPL 내부의 유체 흐름을 관찰하기 위하여 유리 기판 상에 Si wafer를 anodic bonding한 후 ICP etching 공정으로 $400\mu\text{m}$ 깊이의 micro channel 및 pin 구조물을 구현하는 방법을 이용하여 제작하였다. 제작된 하판용 Cu 구조물의 reservoir 부분에 냉매 주입을 위한 $1/16\text{mm}$ ϕ 크기의 through hole을 가공하였으며 Ag paste를 screen printing 한 후 미리 제작된 align key를 이용하여

상, 하판을 접합하였다.

2. 본 론

2.1 LIGA 공정을 이용한 micro CPL 하판 제작

2.1.1 X-선 마스크 제작

본 연구에서는 X-선 투과도 및 내구성이 우수한 BN membrane type X-선 마스크를 제작하였다. 기존에 사용하던 SiN membrane의 경우 X-선 투과도 및 정밀도에 있어서는 우수하나 장시간 X-ray에 노출되었을 때 에너지 축적에 의한 stress 증가로 인해 membrane 이 distortion 또는 파괴되는 문제점이 발견되었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 새롭게 제작한 graphite X-선 마스크의 경우, X-선 투과도 및 내구성은 우수하지만 이 역시 membrane인 graphite sheet 의 표면에 존재하는 기공들로 인해 제작공정 상에 어려움이 있다. 따라서 기존의 SiN X-선 마스크가 가진 우수한 X-선 투과도 및 정밀도를 유지하면서 동시에 제작이 용이한 새로운 재질의 BN X-선 마스크를 제작하였다. 그림 2.1.1.1은 BN X-선 마스크의 제작공정을 보여준다.

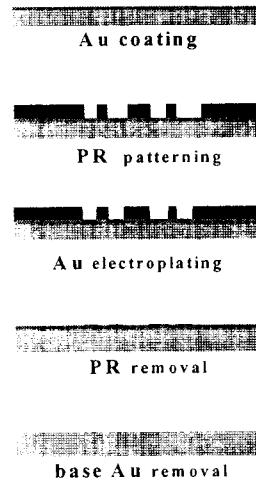


그림 2.1.1.1 BN X-선 마스크 제작공정

상기 제작공정을 이용하여 micro CPL 하판 제작을 위한 X-선 노광용 마스크를 각각 제작하였다. 제작된 X-선 마스크는 부품 냉각 시 용매의 표면적을 넓히기 위한 micro channel, 역류방지용 micro pin array 등으로 구성되어 있으며 micro channel의 간격은 $100\mu\text{m}$, micro pin의 size는 $50\mu\text{m}$ 이고 정밀도는 ± 1.0

μm이다. 그림 2.1.1.2는 제작된 BN X-선 마스크의 내부구조를 보여주고 있다.

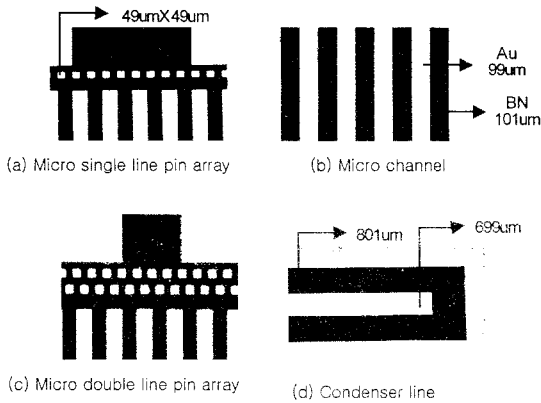


그림 2.1.1.2 BN X-선 마스크의 내부구조

제작된 BN X-선 마스크는 X-선 감광용 resist 기판과 함께 정밀 scanner에 장착하여 X-선 노광 공정에 투입하였다.

2.1.2 X-선 감광용 기판 제작

X-선 감광제인 PMMA sheet를 base Au가 coating된 도금용 4" Si wafer상에 집합하여 설계된 micro CPL의 하판 spec.에 따라 250μm 두께로 Lapping하였다. 그림 2.1.2.1은 micro CPL 하판용 X-선 감광 기판의 제작공정을 보여준다.

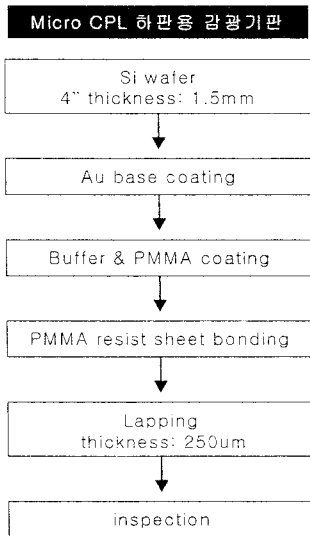


그림 2.1.2.1 X-선 감광용 기판 제작공정

2.1.3 X-선 exposing 공정

상기 제작된 BN X-선 마스크와 X-선 감광용 기판을 이용하여 X-선 노광실험을 하였다. X-선은 포항가속기를 이용하였으며 beam energy는 2.5GeV이고 평균 전류밀도는 130mA이다. X-선 마스크는 미리 제작된 X-

선 감광용 기판과 함께 지그로 고정하여 입사되는 X-선으로부터 수직하게 정밀 scanner상에 장착하였다. 입사되는 X-선은 mask상에 patterning 되어있는 Au absorber 사이의 BN membrane을 투과하여 그 뒤쪽에 장착된 X-선 감광용 기판에 선택적으로 조사된다. scanner를 상하 방향으로 움직이면서 X-선을 노광하였고 scanning 속도는 20mm/sec, scanning length는 9cm이다. PMMA 바닥에 일정량의 에너지가 축적되면 X-선 노광공정은 완료된다. [1] 적정 노광 시간은 PMMA 바닥에 4kJ/cm³ 에너지가 축적될 때를 기준으로 하였고 이때 X-선 마스크의 absorber 아래 부분에 위치하는 PMMA 상단면에는 일정 dose 미만의 에너지가 축적되도록 하였다. 그림 2.1.3.1은 X-선 노광공정을 보여주고 있다.

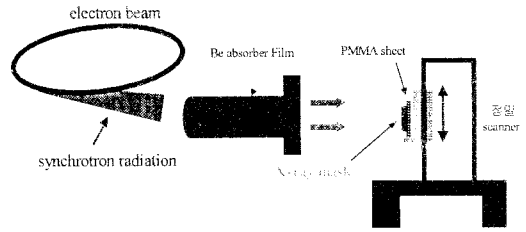


그림 2.1.3.1 X-ray exposing process

2.1.4 현상공정

X-선 노광이 완료된 PMMA 감광기판은 일정 비율로 제조된 현상액에 침지하여 X-선에 노광된 부위만을 선택적으로 etching하였다. 이때 etching uniformity를 향상시키기 위하여 megasonic cleaner를 이용하였으며 O₂ gas plasma asher를 이용하여 감광기판의 바닥면에 잔존하는 PMMA 찌꺼기를 제거하였다. 그림 2.1.4.1은 X-선 노광 및 현상 후 제작된 PMMA 구조물을 보여주고 있다.

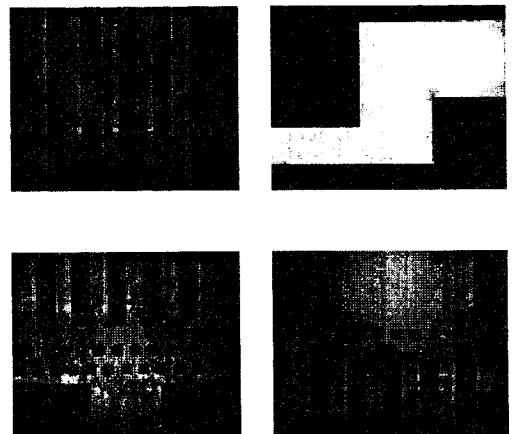
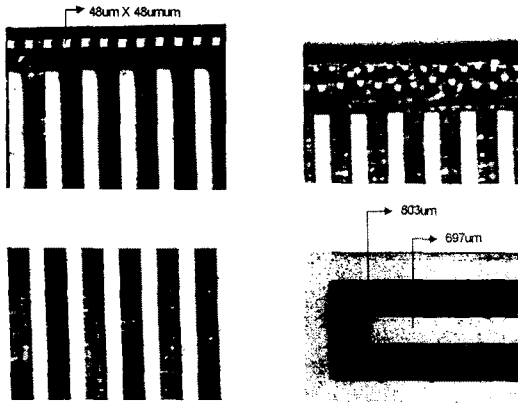


그림 2.1.4.1 micro CPL 하판용 PMMA 구조물

2.1.5 micro CPL 하판용 Cu 전주도금

X-선 노광 및 현상 공정으로 PMMA 구조물을 제작한 후 바닥면인 전도성 기판으로부터 open area를 Cu 전주도금으로 채워 넣었다. 적정 전류밀도는 0.5A/dm²로 하였고 pattern spec.에 따라 250μm 높이까지 도금 후 PMMA 구조물 위로 1mm 두께까지 overflow시켜 micro CPL 하판 구조물을 형성하였다. 도금된 micro CPL 하판용 Cu 구조물은 전도성 기판으로부터 분리하

여 표면을 TTV가 $\pm 2\mu\text{m}$ 이내가 되도록 CMP한 후 Cu 도금 구조물 사이에 남아있는 PMMA resist를 remover로 제거하였다. 제작된 micro CPL 하판은 냉매 주입 및 내부를 진공상태로 만들어 주기 위하여 하판의 reservoir 뒤쪽으로부터 1/16 ϕ 크기로 hole을 가공하였다. 그림 2.1.5.1은 LIGA 공정으로 제작된 micro CPL 하판을 보여준다.



2.1.5.1 micro CPL 하판용 Cu 구조물

2.2 ICP etching 공정을 이용한 상판 제작

micro CPL 상판은 냉각기 작동 시 냉매의 흐름을 관찰하기 위하여 유리 기판상에 제작하였다. 600 μm 두께의 corning 7740 glass를 400 μm 두께의 Si wafer에 anodic bonding하였다. bonding된 Si/glass wafer의 Si 표면에 PECVD로 oxide layer를 4.5 μm 두께로 증착한 후 posi PR을 이용하여 PR patterning을 하였다. PR patterning된 oxide layer는 RIE공정으로 oxide를 patterning하여 ICP etching을 위한 passive layer를 형성하였다. 그림 2.2.1은 ICP etching 공정을 이용한 micro CPL 상판 제작공정을 보여준다.

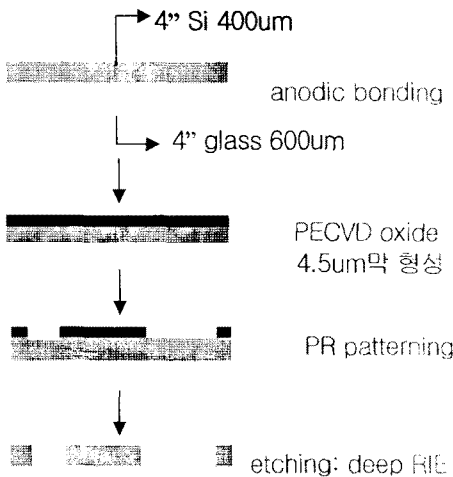


그림 2.2.1 ICP etching을 이용한 상판제작 공정

상기 제작공정에 의해 oxide가 patterning 되어있는 Si/glass bonding wafer는 설계된 micro CPL 상판 spec.에 따라 400 μm 깊이까지 Si를 etching하였다. 제작된 micro CPL 상판은 50 μm 간격으로 배열된 micro

pin array 및 냉매 순환용 loop line로 구성되어 있으며 구조물의 정밀도는 $\pm 2\mu\text{m}$ 이다. 상판의 바닥면은 냉매의 흐름을 관찰하기 위한 투명 유리로 이루어져 있다. ICP etching 후 제작된 micro CPL 상판 구조물은 기 제작된 하판과의 접합을 위하여 align key를 중심으로 50mm x 50mm size로 dicing하였다. 그림 2.2.2는 ICP etching으로 제작된 micro CPL 상판의 내부 구조를 보여주고 있다.

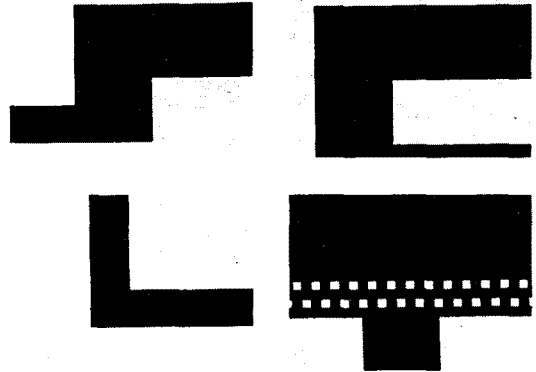


그림 2.2.2 micro CPL 상판용 Si 구조물

LIGA process로 제작된 micro CPL 하판과 ICP etching공정으로 제작된 상판구조물은 각각 표면을 cleaning한 후 기 제작된 align용 screen mash를 이용하여 Ag paste를 10 μm 두께로 printing하였다. screen printing된 상 하판은 각각의 구조물에 미리 제작되어 있는 align key를 이용하여 상호 접합하였다. 접합 온도는 120 $^{\circ}\text{C}$ 이고 0.05kg/cm²의 압력에서 1시간 동안 유지하였다.

3. 결 론

본 연구에서는 LIGA process 및 ICP etching공정을 이용하여 micro CPL을 제작하였다. 각각 상판과 하판으로 나누어 제작하였으며 상판은 LIGA process를 이용하여 Cu 도금으로, 상판은 glass 기판에 Si wafer를 접합한 후 ICP Si etching 공정으로 제작하여 상호 접합하였다. 상기 방식으로 제작된 micro CPL은 우수한 정밀도($\pm 2\mu\text{m}$ 이내) 및 벽면 조도를 가지며 상판이 유리 기판상에 제작되어 냉매의 흐름 및 상 변화 과정을 직접 관찰할 수 있다.

감사의 글

본 논문은 산업자원부와 과학기술부가 주관하는 초소형정밀기계 선도기술개발사업의 연구비 지원에 의한 것으로 이에 감사드리며 실험에 많은 도움을 주신 포항가속기 연구소에도 감사를 드립니다.

[참 고 문 헌]

[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.