

Micro CPL 제작을 위한 LIGA & MEMS 공정개발

조 진우*, 정 석원, 박 준식, 박 순섭
전자부품연구원

The development of LIGA & MEMS process for fabricating micro CPL

Jin-Woo Cho*, Suk-Won Jung, Jun-Sik Park, Soon-Sup Park
Korea Electronics Technology Institute

Abstract - micro CPL 제작을 위한 LIGA 및 MEMS 공정을 개발하였으며 양산화를 위한 새로운 방법으로 μ MIM(micro Metal Injection Molding) 기술을 제안하였다. 먼저 LIGA 기술을 이용하여 Cu 도금 구조물로 이루어진 micro CPL 구조물을 제작하였다. 각각 상판과 하판 구조물로 나누어 제작하였으며 상, 하판 Cu 구조물을 brazing 방법을 이용하여 접합하였다. 또한 micro CPL 내부에서 일어나는 냉매의 흐름 및 상변화(liquid \leftrightarrow vapor) 거동을 관찰할 수 있는 새로운 개념의 Si/glass 투명 micro CPL을 제작하였다. 상기 공정을 이용하여 냉각 능력이 $10W/cm^2$ 이상인 micro CPL을 제작하였다. 상기 연구 결과를 바탕으로 양산화를 위한 새로운 정밀복제기술인 μ MIM(Micro Metal Injection Molding) 공정을 개발하였다. LIGA 공정으로 제작된 정밀 금형을 core금형으로 사용하였고 $1\mu m$ 이하의 W-Cu(20%) powder와 binder가 혼합된 혼합분말을 이용하여 micro channel 구조물(선폭 $100\mu m$)의 성형 복제에 성공함으로써 양산화를 향한 기반기술을 확립하였다.

1. 서 론

micro CPL(Capillary Pumped Loop)은 소형화가 용이하고 무동력으로 작동이 가능하며 신뢰성이 우수하다는 장점 때문에 heat pipe, heat exchanger 등과 함께 새로운 차세대 마이크로 냉각기로서 각광을 받고 있다. 특히 통신장치, notebook PC용 CPU 등이 급속히 소형화, 고속화되고 있어 조만간 열 제거능력이 $25W/cm^2$ 이상 요구되고 있다는 기술적 패러다임을 고려할 때 기존의 냉각기를 대체할 수 있는 새로운 형태의 micro CPL 개발은 시급하다. 본 연구에서는 Si MEMS 공정을 이용하여 Si/glass로 이루어진 새로운 형태의 투명 micro CPL을 개발하였으며 또한 LIGA 기술을 이용하여 열전도성이 우수한 Cu 구조물로 이루어진 micro CPL을 제작하였다. Si/glass 구조로 이루어진 투명 micro CPL은 ICP etching 및 bonding 공정을 이용하였다. Si wafer상에 micro CPL의 기본적인 구성 요소인 reservoir, evaporator, condenser 등 미세 구조물들을 형성한 후 anodic bonding으로 Si과glass wafer를 접합하여 제작하였다. 제작된 투명 micro CPL은 냉각기 작동 시 evaporator 영역에서 일어나는 냉매의 상변화(liquid \rightarrow vapor)과정 및 condenser 영역에서 발생하는 냉매의 흐름을 관찰할 수 있어 simulation 결과에 대한 신속한 검증 및 feedback이 가능하며 새로운 형태의 디자인 개발에 매우 효과적이다.

열 제거능력이 $10W/cm^2$ 이상인 micro CPL은 미세 channel($100\mu m$) 및 역류방지용 post($50\mu m$) 구조물 등 매우 복잡하고 미세한 구조물로 이루어져 있어 일반적인 기계가공 방식으로는 제작이 어렵다. 본 연구에서는 X-ray를 이용한 새로운 초소형, 초정밀 가공방식인 LIGA 기술을 이용하여 Cu 구조물로 이루어진 micro CPL을 제작하였다. LIGA 기술을 이용하여 micro CPL을 제작할 경우, 공정 특성상 정밀한 구조물 제작이 가능할 뿐만 아니라 벽면 조도가 우수하여 냉매의 흐름이 원활하기 때문에 micro CPL의 냉각 효율을 극대화 할 수 있다.

포함가속기 방사광을 이용하여 정밀 레지스트 형상을 제작하였으며 각각 상판과 하판으로 나누어 Cu 도금을 하였다. 상판의 경우 $400\mu m$ 깊이의 micro pattern 영역을, 하판의 경우 $200\mu m$ 깊이의 영역을 overflow할 때까지 Cu 도금을 하였고 표면 가공 후 brazing방법을 이용하여 제작된 각각의 상, 하판 Cu 구조물을 접합하였다. 상기 연구 결과를 토대로 micro CPL을 양산화하기 위한 정밀 복제기술을 제안하였고 기초 연구를 수행하였다. LIGA 정밀 금형 및 W-Cu(20%) 미세 분말을 이용하여 micro CPL 내부 구조 중 evaporator와 동일한 형상으로 이루어진 micro channel 구조물을 대량으로 복제할 수 있는 새로운 μ MIM 공정을 개발하였다.

2. 본 론

2.1 Si/glass micro CPL 제작

Si과 glass로 이루어진 투명 micro CPL은 ICP etching 및 bonding 공정으로 제작하였다. 먼저 하판을 구성하는 Si wafer의 뒷면에 align key를 형성한 후 backside aligning을 이용하여 앞면에 ICP etching masking용 PR을 patterning 하였다. ICP etching 공정으로 $200\mu m$ 깊이까지 선택 식각하여 micro CPL의 하판을 구성하는 기본 형상을 제작한 후 SDB(Silicon Direct Bonding) 공정으로 $400\mu m$ 두께의 Si wafer를 접합하였다. 접합된 Si wafer 표면에 PECVD 공정으로 oxide막을 증착한 후 하판에 기 형성된 미세 구조물들과 상호 matching이 되도록 backside aligning하여 선택적으로 관통 식각하였다. 제작된 Si의 내부 구조는 $600\mu m$ 깊이의 유로, 역류방지용 post 및 $200\mu m$ 높이의 micro channel로 구성되어 있다. Si ICP etching 공정으로 제작된 Si micro CPL 구조물의 상판부에 glass wafer를 anodic bonding함으로써 새로운 형태의 투명 micro CPL을 제작하였으며 제작 과정은 그림 1에 나타내었다. 제작된 Si/glass micro CPL은 상판의 glass를 통하여 내부 관찰이 가능하기 때문에 냉각기 작동 시 발생하는 냉매의 상변화 과정 및 유체의 흐름을 직접 확인할 수 있다. Si/glass micro CPL 내부로 냉매를 유입시키기 위하여 reservoir 부위에 $1/16"$ hole을 제작한 후 진공도를 유지하며 냉매를 주입하였다. 그림 2는 Si ICP etching 및 SDB 후 IR image로 관찰된 micro CPL의 형상이며 그림 3은 제작된 Si/glass 투명 micro CPL의 내부 형상을 보여주고 있다.

2.2 Cu micro CPL 제작

2.2.1 X-선 마스크 제작

LIGA 공정을 이용하여 Cu 도금 구조물로 이루어진 micro CPL을 제작하였다. 먼저, X-선 투과도 및 내구성이 우수한 BN membrane type X-선 마스크를 제작하였다. 그림 4는 BN X-선 마스크의 제작공정을 보여준다. X-선 마스크는 X-선을 투과 시키는 membrane과 x-선

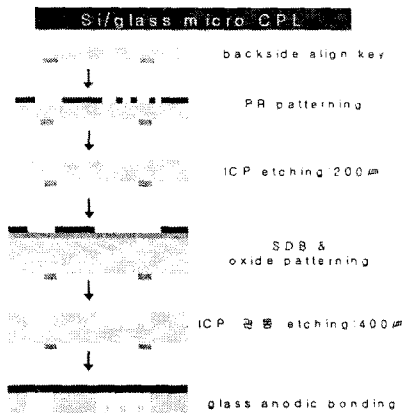


그림 1 Si/glass micro CPL 제작공정

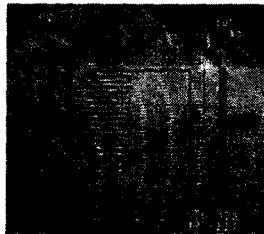
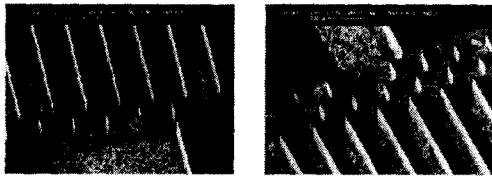


그림 2 Si SDB 후 내부 모습



a) micro pin & channel 1 b) micro pin & channel 2
그림 3 Si/glass micro CPL의 내부 구조

투과를 억제하는 absorber로 구성되어 있으며 본 연구에서는 X-선 투과 억제 효과가 뛰어난 Au를 정밀 도금하여 absorber로 사용하였다. Au absorber는 micro channel 및 micro pin array로 구성되어 있으며 micro channel의 간격은 100 μm, micro pin의 size는 50 μm이고 정밀도는 ±1.0 μm이다. 그림 5는 제작된 BN X-선 마스크의 외형을 보여주고 있다. BN X-선 마스크는 X-선 감광제 기판과 함께 정밀 scanner에 장착하여 X-선 노광 공정을 수행하였다.

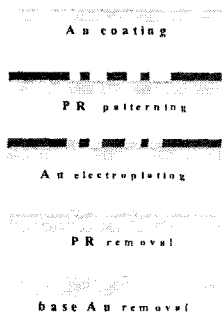


그림 4 BN X-선 마스크 제작공정

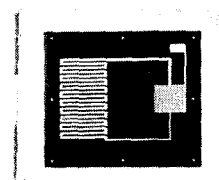


그림 5 BNX-선 마스크

2.2.2 X-선 노광 공정

상기 제작된 BN X-선 마스크와 X-선 감광기판 (PMMA)을 이용하여 micro CPL Cu 도금용 레지스트 틀을 제작하였다. X-선은 포항가속기를 이용하였으며 beam energy는 2.5GeV이고 평균 전류밀도는 130mA이다. X-선 마스크는 미리 제작된 X-선 감광기판과 함께 지그로 고정하여 입사되는 X-선에 수직하게 정밀 scanner상에 장착하였다. 입사되는 X-선은 X-선 mask 상에 patterning 되어있는 Au absorber 사이의 membrane을 통과하여 그 뒤쪽에 장착된 X-선 감광기판에 선택적으로 조사된다. X-선 노광 공정은 PMMA 바닥면에 4KJ/cm³의 에너지가 축적되면 완료되며 5A 미만의 filtered X-선을 이용하기 때문에 형상 및 치수의 외곡됨 없이 X-선 감광기판 상에 1:1로 pattern 전사가 가능하다.^[1]

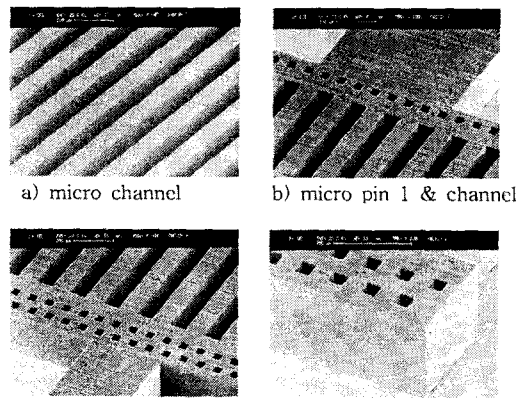
2.2.3 현상공정

X-선 노광 공정이 끝난 X-선 감광기판은 현상액을 이용하여 X-선에 의해 노광된 부분만을 선택적으로 식각하였다. 표 1은 현상 공정 시 이용된 현상액 및 rinse 액의 조성을 보여주고 있다. 현상 시 균일성을 향상시키기 위하여 megasonic cleaner를 사용하였으며 정밀도가 ±1.0 μm이하인 micro CPL Cu 도금용 레지스트 틀을 제작하였다.

표 1 현상액, rinse1, rinse2 용액의 조성

성분	현상액	Rinse1	Rinse2
2 (2 butoxyethoxy)ethanol CH ₃ (CH ₂) ₃ OCH ₂ CH ₂ OCH ₂ CH ₂ OH	60%	80%	20%
morpholine H ₂ NCH ₂ CH ₂ OH	20%	-	-
2-aminoethano C ₂ H ₈ ONH ₂	5%	-	-
DI water	15%	20%	80%

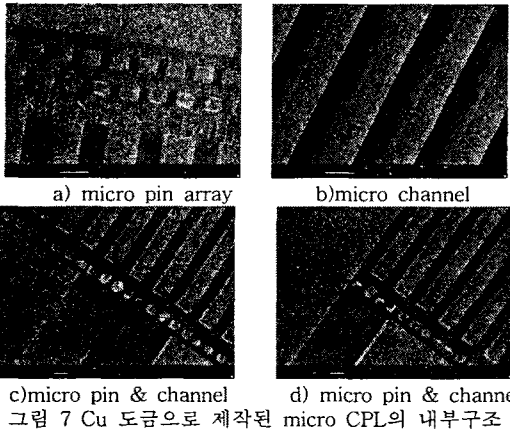
그림 6는 X-선 감광제 (PMMA) 현상 후 제작된 micro CPL 도금용 레지스트 틀의 내부 구조를 보여주고 있다.



c) micro pin 2 & channel d) micro pin 2
그림 6 X-선 감광제 (PMMA) 구조물

2.2.4 Cu 전주도금공정

현상이 끝난 PMMA 구조물은 전처리 과정을 거쳐 Cu 전주도금을 하였다. 현상된 기판을 알칼리 탈지액과 10% 황산용액에 각각 1분씩 침지하여 바닥면을 활성화시켰으며 황산동 base Cu 도금용액을 사용하여 도금하였다. 도금 조건은 음극 표면으로의 물질이동에 기인한 전류밀도, electrode kinetics 및 농도구배 등 기초 실험 결과를 통해 적정 전류밀도로 결정하였으며 부위별 pattern의 형상 및 spec.에 따라 0.3~3A/dm² 조건으로 도금하였다. 각각 상판과 하판으로 나누어 Cu 전주도금을 진행하였으며 도금 속도는 pattern size 및 중형비에 따라 5~50μm/hr로 진행하였다. micro CPL은 미세한 micro channel 및 micro pin array로 구성되어 있기 때문에 저 전류밀도에서 시작하여 단계별로 전류밀도를 상승시켰고 pattern 상단을 overflow하여 최종적으로 PMMA 도금 틀로부터 1.5mm 두께까지 Cu 도금하였다. 도금이 끝난 micro CPL 상,하판용 Cu 구조물의 표면은 TTV를 ±2μm가 되도록 CMP하였고 cleaning 후 align key를 이용하여 brazing 방식으로 상호 접합하였다. 그림 7은 Cu 전주 도금된 micro CPL의 내부 구조를 보여주고 있다.

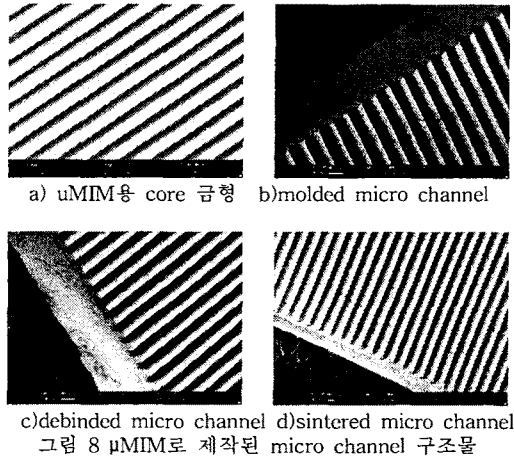


a) micro pin array b) micro channel
c) micro pin & channel d) micro pin & channel
그림 7 Cu 도금으로 제작된 micro CPL의 내부구조

2.3 micro CPL 양산화를 위한 μMIM 공정

상기 연구결과 성능 및 물성평가를 위한 test 샘플을 성공적으로 제작하였으며 micro CPL 양산화를 위한 새로운 정밀 복제기술인 μMIM공정을 개발하였다. 사출성형용 정밀 core 금형은 각각 기계가공 방식을 이용한 haise강 및 LIGA 기술을 이용한 Ni 구조물 두 가지로 제작하였고 1μm이하의 W-Cu 복합 분말을 4 종류의 binder와 혼합하여 metal injection molding용 혼합분말을 합성하였다. 소결 시 소결밀도를 향상시키기 위하여 액상 소결 방식으로 합금 비가 5:1인 W-Cu(20%) powder를 사용하였고 binder는 사출성형 시 W-Cu(20%) 복합분말의 성형성을 향상시키기 위하여 PW(파라핀왁스)와 BW(비스왁스), 소결 시 형상유지를 위하여 LDPE(저밀도 폴리에틸렌)과 SA(스테아린산)를 혼합한 다 성분계 binder를 사용하였다.^[2] 본 연구에서 사용한 μMIM용 core 금형의 형상은 micro CPL을 구성하는 형상요소 중 가장 미세한 부위인 evaporator 영역에 해당하는 micro channel 형태이며 간격이 130μm이고寬이가 300μm인 channel 구조로 이루어져 있다. 몰드 베이스는 μMIM 시 성형체의 uniformity를 향상시키고 성형 조건실험 시 신속한 feedback을 위하여 one cavity 구조로 제작하였으며 내부의 hot runner 구조를 다양화하였다. 또한 oil heating 방식을 도입하여 혼합분말에 인가되는 승온 및 냉각 싸이클을 단축시켰다. 그림 8에 a)는 μMIM 공정 시 사용된 micro channel 형상의 core 금형이며 b), c), d)는 각각 μMIM 공정별로 제작된 micro channel 구조물의 형

상을 보여주고 있다. b)는 W-Cu 분말과 binder가 일정 비율로 혼합된 혼합분말을 core 금형을 이용하여 사출성형한 결과이다. 금속분말과 binder가 혼합된 혼합분말 상태에서 성형되었기 때문에 구조물의 표면 조도가 그리 우수하지는 못하나 전체적인 형상은 core금형의 negative 형상을 잘 나타내고 있으며 바닥면과 표면 사이에서의 형상의 외곽됨이 관찰되지 않는다. c)는 성형된 micro channel 구조물의 내부에 잔존하는 binder를 제거한 후 관찰된 형상이며 d)는 debinding 후 최종적으로 sintering한 결과를 보여주고 있다. sintering 후 제작된 구조물은 등방수축을 보이고 있으며 수축율은 33%이다. 또한, sintering 과정에서 일어나는 치밀화 효과에 의해 표면 조도는 b)의 사출성형 구조물에 비해 매우 개선된 표면 조도를 갖는다.



a) μMIM용 core 금형 b) molded micro channel
c) debinded micro channel d) sintered micro channel
그림 8 μMIM로 제작된 micro channel 구조물

3. 결론

본 연구에서는 새로운 차세대 냉각 장치로 각광 받고 있는 micro CPL을 제작하기 위한 공정을 개발하였고 양산화를 위한 정밀복제 기술로 μMIM 기술을 제안하였다. Si ICP etching 공정 및 SDB/anodic bonding 공정을 이용하여 micro CPL의 내부 관찰이 가능한 투명한 형태의 새로운 Si/glass micro CPL을 제작하였으며 X-선을 이용한 초정밀 가공기술인 LIGA 기술을 이용하여 Cu 도금 구조물로 이루어진 micro CPL을 제작하였다. 상기 제작 결과를 바탕으로 10W/cm²의 냉각 능력을 갖는 micro CPL을 제작하였다. W-Cu 혼합분말을 이용한 micro CPL 정밀 복제 기술로 μMIM공정을 시도 중에 있다. 기초연구 결과 100μm 간격의 micro channel 형상 정밀복제에 성공하였고 향후 micro CPL 전체 형상을 정밀 복제할 수 있는 μMIM 공정을 개발 하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부와 과학기술부에서 시행하는 선도 기술개발사업의 G7 MEMS 기술개발 결과로 이에 감사드리며 도움을 주신 포항가속기에도 감사드립니다.

[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
- [2] 김순옥, Journal of Korean Powder Metallurgy Institute, Vol., 8, No. 4, 2001