

용융 메탈 잉크젯 시스템

이택민*, 강태구, 양정순, 조정대, 김광영, 김동수 (한국기계연구원, 정보장비연구센터)

Molten Metal Inkjet System

Taik-Min Lee, Tae Goo Kang, Jeong-Soon Yang, , Jeong-Dai Jo, Kwang-Young Kim, Dong-Soo Kim
(IT Machinery Research Center, Korea Institute of Machinery & Materials)

ABSTRACT

In this paper, we present a design, analysis, fabrication and performance test of the novel DoD metal-jet system for application to the high-density and high-temperature-melting materials. Based on the theoretical analysis, we design the metal-jet print head system and fabricate the metal-jet system, which can eject the droplet of lead-free metal solder in the high-temperature. In the experimental test, we set up the test apparatus for visualization of the droplet ejection and measure the ejected droplet volume and velocity. As a result, the diameter, volume and the velocity of the ejected droplet are about 65-70 μ m, 145-180 pl and 4m/sec. We also fabricate vertical and inclined 3D micro column structures using the present molten metal inkjet system. The measured geometries of the micro column structures are about height of 2,100 μ m, diameter of 200 μ m and aspect ratio of 10.5 for vertical micro column and 1,400 μ m of height and 150 μ m of diameter for 65°-inclined micro column, respectively.

Key Words : Metal-Jet(메탈젯), DoD Injector(DoD 인젝터), Inkjet(잉크젯), Printing(프린팅), Moten Metal(용융 금속)

1. 서론

최근, 전자 종이와 같은 신개념의 디스플레이 장치 및 RFID와 같은 일회용 정보 장치 등의 정보장치를 제작함에 있어 프린팅 기법을 도입하려는 연구가 활발히 진행되고 있다[1-4]. 특히, 용융 메탈과 같이 고온, 고점도의 용액을 액적의 형태로 토출하여 프린팅하는 메탈젯(metal-jet)방식을 반도체 패키징 및 PCB 기판 공정 등에 응용할 경우 기존의 반도체 공정이나 전기도금 등의 공정방법에 비해 공정 시간 및 공정 원가 절감 등의 관점에서 큰 장점이 있다고 할 것이다.

본 논문에서는 300°C 이상의 고온 상태에서 분사가 가능한 piezoelectric 방식의 새로운 DoD 메탈젯 시스템을 설계 및 제작하여 그 성능을 시험함으로써 고온 구동이 가능한 메탈젯 시스템의 구현 가능성을 검증하고 이를 이용한 3 차원 금속 미세구조물의 제작가능성을 검증하고자 한다.

2. 설계 및 제작

그림 1 은 메탈젯 프린팅 시스템의 개념도이다. 그림 1 에서 알 수 있는 바와 같이, 본 논문에서 제안하는 메탈젯 프린팅 시스템은 압전형 구동기(piezoelectric actuator)와, 간극 조절이 가능한 노즐 시스템(gap adjustable nozzle system), 간극 조절 시스템(gap control unit), 압력 조절 장치(pressure control unit) 및 가열로(furnace)와 단열부(insulator) 등으로 구성되어 있다. 메탈젯 프린팅 시스템의 작동원리(그림 2)는 용융 메탈이 채워져 있는 챔버 내에서 압전구동기와 기계적으로 체결되어 있는 피스톤헤드 부분이 압전구동기에 인가되는 펄스 신호 입력에 의해 노즐출구(nozzle exit)를 향해 순간적으로 움직이게 되며, 이 때 발생하는 압력파로 인해 용융 메탈이 노즐출구를 통해 분사되는 것이다.

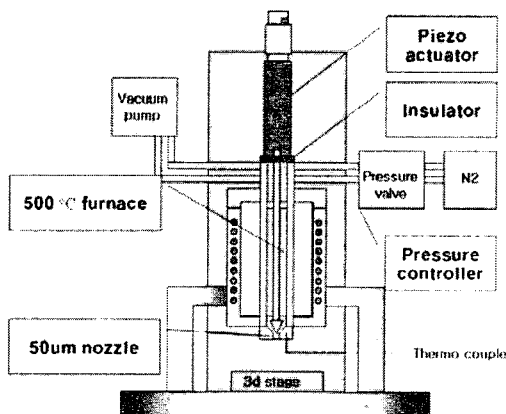


Fig. 1 Conceptual design of the piezoelectric DoD metal-jet system.

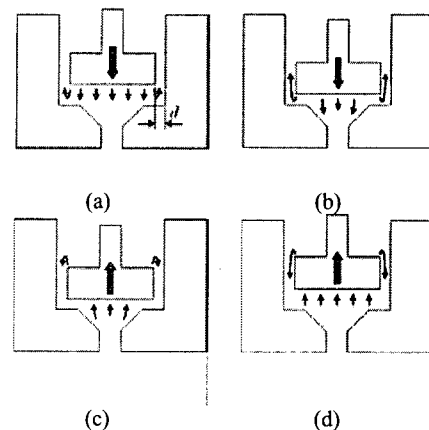


Figure 2. Working principle of the piezoelectrically actuated DoD metal-jet systems.

그림 3 은 최종적으로 구현된 메탈젯 시스템이다. 이 시스템은 공급압제어, PZT 구동기를 통한 발생 압력과 제어, 정밀 스테이지를 이용한 3 축제어가 가능하다. 각종 페이스트(paste) 뿐 아니라 금속 분말을 용융시켜 토출 할 수 있으며 각종 변수에 대한 정밀 제어를 통하여 최적의 작동환경을 도출 할 수 있도록 설계, 제작되었다.

3. 메탈젯 시스템의 시험 및 성능 분석

본 연구에서는 토출되는 액적의 순간적인 형상을 관찰하기 위하여 현미경이 장착된 고속카메라(high-speed camera)와 조명기(illuminator)를 사용하였다. 또한, 미세 양압(positive pressure) 및 음압(negative pressure)의 조절이 동시에 가능한 압력제어기와 압력 계측 시스템을 사용하여 챔버 내의 압력을 정밀하게 제어하였다. 메탈 챔버 내의 온도와 노즐끝단의 온도를 각각 온도 조절기를 사용하여 정밀하게 제어하였으며, 컴퓨터와 D/A 변환 보드(D/A converting board)를 사용하여 입력신호를 생성하였다.

본 논문에서는 메탈젯 프린팅 시스템의 성능을 분석하기 위하여 각각 다른 점도 및 작동온도를 가지는 물과 용융메탈 두 가지 재료에 관하여 시험을 수행하고 그 결과를 비교하였다. 100 μ m 지름을 가지는 corn-type 노즐에서 토출되는 물과 200 μ m 지름을 가지는 corn-type 노즐에서 토출되는 용융메탈 및 50 μ m 지름을 가지는 flat-type 노즐에서 토출되는 용융메탈의 토출궤적을 순간 촬영한 결과 (그림 4)로부터 토출액적의 지름, 부피 및 토출속도를 각각 측정하였다. 측정된 토출액적의 지름, 부피 및 속도는 앞서의 각 경우에 있어서 각각 386 μ m, 30.1nl 및 0.49m/sec, 301 μ m, 17nl 및 0.59m/sec 및 65 μ m, 140pl and 4.0m/sec 로 각각 측정되었다.

본 연구에서는 제작된 메탈젯 시스템을 사용하여 3 차원 금속 미세구조물(그림 5)을 제작하였다. 그림 5(a)는 높이 2,100 μ m, 지름 200 μ m 및 종횡비(aspect ratio) 10.5 인 수직형태의 금속 미세구조물을 나타내며, 그림 5(b)는 높이 1,400 μ m 에 지름 150 μ m 를 가지는 65° 기울어진 형태의 금속 미세구조물을 각각 나타낸다.

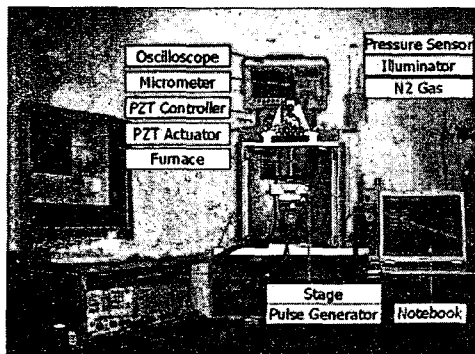


Fig. 3 A photograph of the DoD metal-jet printing system.



Fig. 4 Measured trajectory of the ejected molten-metal droplets, whose diameter, volume and velocities are 65 μ m, 140pl and 4.0m/sec from 50 μ m-diameter nozzle.

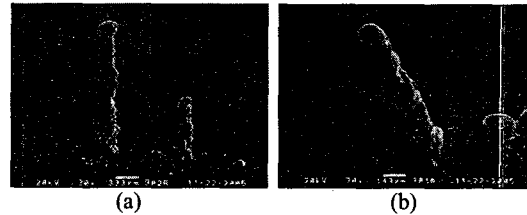


Fig. 5 SEM photographs of the fabricated 3D metal structures using the present DoD metal-jet printing systems: (a) vertical column; (b) 65°-inclined column.

4. 결론

본 연구에서는 제시한 노즐 시스템의 이론적 해석 및 설계를 통해 제작된 메탈젯 시스템을 사용하여, 메탈과 같은 고온, 고점도의 용액을 액적의 형태로 토출하여, 반도체 패키징 및 PCB 기판 공정 등에 응용할 경우, 기존의 반도체 공정이나 전기도금 등의 공정방법에 비해 공정 원가 및 공정 시간 절감 등의 관점에서 큰 장점이 있을 것이며, 3 차원 미세구조 형상의 제작뿐만 아니라, 미래형 저가의 전자소자를 제조하기 위한 새로운 제조공정 장비로의 적용가능성을 가지고 있다고 할 것이다.

참고문헌

1. K. Yamaguchi, K. Sakai, T. Yamanaka, and T. Hirayama, "Generation of Three-dimensional Micro Structure Using Metal Jet," *Precision Engineering*, Vol. 24 (2000) pp. 2~8.
2. E. Wilkes, and O. Basaran, "Drop Ejection from an Oscillating Rod," *J. of Colloid and interface science*, No. 242, (2001) pp. 180~201.
3. H. Eom, K. Cho, I. Song, and Y. Hahn, "Investigation of Preprocess Parameters on Lead-free Solder Balls Fabricated by Droplet-Based Manufacturing Process," *J. Kor. Inst. Met.&Mater.*, Vol. 41, No. 1, (2003) pp. 56~63.
4. D. Hayes, W. Cox, and M. Grove, "Low-Cost Display Assembly and Interconnect Using Ink-Jet Printing Technology," *Display Works*, 1999.
5. M. Orme, J. Courter, Q. Liu, C. Huang, and R. Smith, "Electrostatic Charging and Deflection of Nonconventional Droplet Streams Formed from Capillary Stream Breakup," *Physics of Fluids*, Vol.12, No. 9, (2000) pp.2224~2235.
6. S. Ayers, D. Hayes, M. Boldman, D. Wallace, "Printhead for Liquid Metals and Method of Use," *U.S. Patent 5772106*, 1998.