전기수력을 이용한 미세노즐
The nozzle for fine jetting using EHD(electrohydrodynamic) principle

*이설홍, 김영재, 박재홍, 황정호, #김용준
*Seol-Hong Lee, Young-Jae Kim, Jae-Hong Park, Jungho Hwang, # Yong-Jun Kim(yjk@yonsei.ac.kr)
연세대학교 기계공학과

Key words : MEMS, nozzle, EHD

1. 서론

현재 인쇄회로기판(PCB, printed circuit board)등의 전자부품제조에 많이 사용되는 사진공정은 보통 5 가지 단계의 공정(감광제 도포, 노광, 현상, 식각, 감광제 제거)을 필요로 하고 공정과정에서 많은 감광제, 현상액, 식각액, 감광제 제거액 등을 필요로 하므로 화학폐기물을 많이 발생시킨다는 문제점이 있다. 반면 직접쓰기기술(direct write technology)은 노즐을 통해 토출된 금속 나노잉크를 기판에 직접 부착시켜 표면에 패턴형상을 구현하는 기술이다. 따라서 기존의 기술에 비해 시간과 경비를 절약 할 수 있으며 기판 위 패턴 구현을 위한 기존의 화학약품을 사용하지 않으므로 친환경적이라 할 수 있다. 또한 형상구현에 있어서 토출된 액적(droplet) 혹은 젯(jet)을 이용하기 때문에 기존 공정과 달리 유전체, SR(solder resist)등 다양한 잉크를 통한 공정대체가 가능하며 대면적화에 유리하다. 최근에 이와 관련된 많은 기술이 보고되고 있으며 본 연구에서는 MEMS 기반 미세노즐에 전기수력방식을 적용하여 각각의 노즐의 개별제어가 가능한 젯 프린팅 기술을 시도하고자 한다. 전기수력을 이용한 젯 프린팅 기술은 노즐과 접지전극 사이에 전위차를 형성시키면 노즐 팁(tip) 부분에 콘 젯(cone-jet)이 발생하게 되는데 이를 이용해 프린팅 하는 방식이다[1]. 이 방식을 이용할 경우 전기적인 힘으로 인하여 메니스커스(meniscus)의 모양이 콘 형태로 변하게 되고 액적이나 젯은 콘의 끝 부분에서 토출되게 된다. 이러한 원리로 기존 잉크젯 방식에 비해 상대적으로 큰 입경의 노즐을 이용해 미세한 액적을 얻을 수 있어 노즐막힘 현상을 방지 할 수 있다[1,2]. 기존 연구는 전기수력을 이용하여 콘 젯 모드를 구현하고 여기서 토출되는 액적의 크기를 측정하는 것이 대부분이었고, 콘 젯 모드를 이용해 프린팅을 시도하였지만 하나의 노즐로 시도한 것이며 개별 노즐 제어가 불가능하여 실제 프린팅 공정에 적용하는데 한계가 있다[1-4].

이에 본 실험에서는 MEMS 공정을 이용해 제작된 칩(chip) 형태의 미세노즐 어레이(array)에 전기수력의 원리를 적용하여 노즐크기보다 작은 미세젯을 토출 시켰으며, 각각의 노즐에 공급되는 유량을 조절하여 노즐을 개별적으로 제어할 수 있도록 하였다.

2. 본론

2.1 전기수력(EHD)의 원리

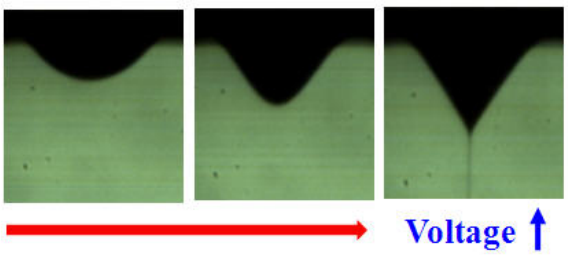

Fig. 1 Meniscus shape change according to applied voltage

적절한 전기 전도성을 가지는 용액이 전기가 흐를 수 있는 모세관(노즐)내를 통과할 때 모세관에 양 고전압(positive high voltage)을 인가하게 되면 모세관이 양극으로 작용하게 되어 액체 속에 용해되어 있던 음이온들이 모세관으로 인력을 받아 이동하게 되고, 이와는 반대로 양이온들은 반발력을 받아 노즐 팁에 맺혀있는 메니스커스로 이동하게 된다. 이러한 현상을 전하분리현상이라고 하며 이러한 현상이 일어나는 과정을 전기적 영동기구(electrophoretic mechanism)라고 한다. 모세관에 인가되는 전압이 작을 경우 액체곡면에 작용하는 전기력과 양이온들의 반발력이 액체의 표면장력보다 작아 젯이 토출되지 않지만 전압을 증가시키게 되면 액체곡면에 작용하는 전기력과 양이온들의 반발력이 액체의 표면장력보다 커지게 되어 젯이 토출된다[5]. 이때 액체의 모양이 콘(cone) 형태를 갖게 되는데 이를 테일러 콘(Taylor cone)이라 한다[6]. 전압의 증가에 따른 메니스커스의 형상 변화는 Fig. 1 과 같다.

2.2 MEMS 기반의 미세노즐 제작

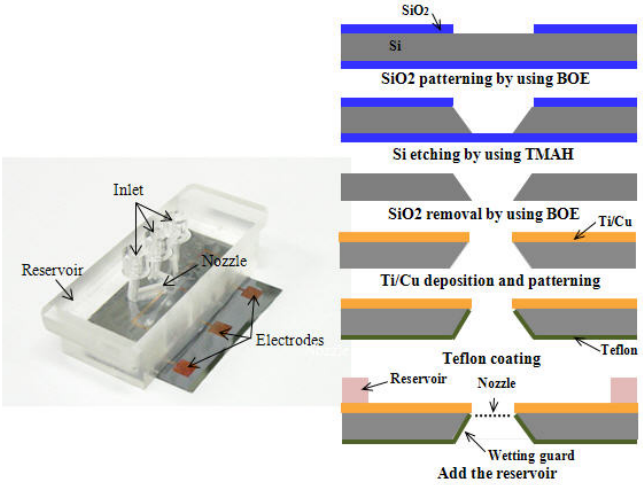

Fig. 2 Picture of nozzle array and fabrication flowchart

미세노즐의 제작은 벌크 마이크로머시닝(bulk micromachining) 공정을 이용하여 제작되었으며 각각의 노즐의 크기는 360 ㎛ x 360 ㎛(width x length)이다. 미세노즐 어레이는 두께 525 ㎛, <100> 방향의 실리콘 웨이퍼를 기반층으로 하여 그 위에 Ti/Cu 를 이용하여 전극(electrode)을 구성하였고 반대편에는 소수성을 유지하기 위하여 테플론(DuPont 社, Teflon AF 2400)을 이용하여 표면처리를 하였다. 테플론은 메니스커스와 노즐 팁과의 접촉각을 증가시켜 액적이 기판옆으로 퍼지는 현상을 막고 콘을 형성시키기에 충분한 크기로 자랄 수 있도록 도와주는 역할을 한다. 또한 메니스커스간 젖음(wetting)을 막기 위하여 벌크 마이크로머시닝 공정으로 실리콘 자체가 메니스커스의 크기를 일정하게 유지시켜주는 역할을 하도록 하였다. 그 위에 잉크를 공급해 주는 시린지 펌프와의 연결 및 일정량의 잉크를 저장하기 위하여 아크릴로 제작된 잉크 저장기가 부착되었다. 노즐의 사진 및 제작공정은 Fig. 2 와 같다.

2.3 미세 젯(fine jet) 토출을 위한 실험장치

장치는 크게 액체공급 장치, 가시화 장치, 전기공급 장치, 기판을 이송시키는 정밀이동 장치로 구성된다. 전기수력원리를 이용하기 위하여 기판 하부에 텅스텐 재질의 핀(pin, 직경: 1 ㎛)을 2.5mm 아래에 고정 시켰으며 노즐과 기판 사이의 거리는 5mm 로 고정하였다. 이때 형성되는 전기장의 세기는 9.7kV/cm 이다. 노즐과 접지전극은 전압 공급 장치와 연결된다. 토출과정은 초고속 카메라를 이용하여 모니터링 되었으며 젯을 토출하기 위하여 은잉크(CABOT 社, AG-IJ-G-100-S1)잉크를 사용하였다. 은잉크는 은나노입자(크기 20nm 이하)과 에틸렌글리콜 (Ethylene glycol) 그리고 분산제로 구성되어 있다. 잉크는 시린지 펌프(kds-100, KD Scientific Inc.)를 이용해 일정한 유량으로 노즐에 공급되었다. 기판을 이동시키기 위한 정밀 이동장치는 선형모터와 x-y 축의 이동을 제어하는 이동제어기로 구성된다. 실험장치의 구성도는 Fig. 3 과 같다.

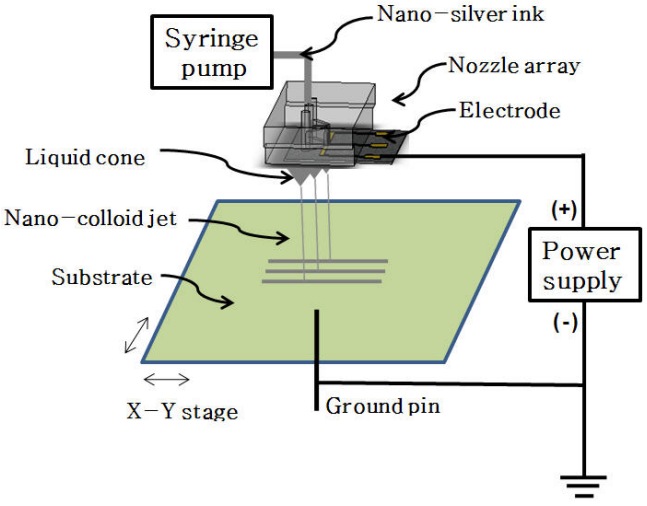

Fig. 3 Experimental setup

2.4 미세 젯(fine jet) 토출을 위한 실험방법

미세 젯을 토출하기 위한 실험은 다음과 같이 진행되었다. 먼저 은잉크를 시린지 펌프를 이용하여 메니스커스의 크기가 일정크기가 될 때까지 노즐로 공급한 후 잉크공급을 중단시킨다. 이후에 노즐과 접지전극에 전압을 공급하고 젯을 토출시킬 노즐에 유량을 공급하거나 중단하여 원하는 노즐에서 젯을 토출 시킨다.

3. 결론

Fig. 4 은 초고속 카메라를 이용하여 안정적인 콘 젯의 형태를 확인한 사진이다. 초기 메니스커스가 형성된 상태에서 유량의 공급을 중단한 후 No.1, No.2 그리고 No.3 노즐에 유량(5 ㎕/min) 공급을 조절하여 각각의 노즐에 젯 토출을 시도하였다. 후에 임의로 선택된 두 개의 노즐을 선택하여 젯을 토출함으로써 각각의 노즐을 임의로 제어할 수 있음을 확인하였다. 위와 같은 실험의 결과로 얻어진 젯의 지름은 약 32 ㎛ 였으며 이 크기는 원래 노즐사이즈의 1/10 이하이며 현재 산업용 잉크젯 방식에서 목표로 하고 있는 10 ㎛ 이하 배선을 노즐크기 100 ㎛ 이상으로도 구현할 수 있음을 검증하였다. 이때 인가된 전압의 크기는 7.3kV 였다.

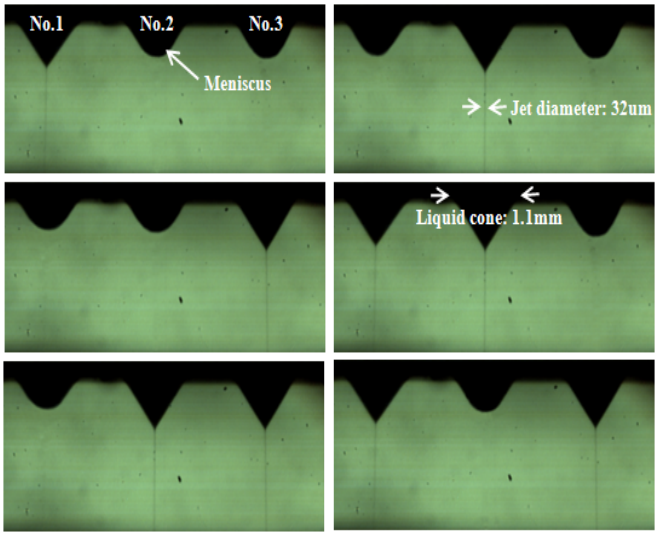

Fig. 4 The picture of controlled nozzle by flow rate

후기

이 연구는 서울시 R&BD Program(GR070039) 및 연세대학교 국가핵심 연구센터(NCRC, R15-2004-024-01001-0))의 지원을 통하여 진행되었다.

참고문헌

1. D.Y. Lee, et al., “Structuring of micro line conductor using electro-hydrodynamic printing of a silver namoparticle suspension”, Applied Physics A, Vol. 82 pp. 671-674, 2006
2. D.Y. Lee, et al., “Electrohydrodynamic printing of silver nanoparticles by using a focused nanocolloid jet”, Applied Physics Letters, Vol. 90, pp. 081905, 2007
3. S.N Jayasinghe et al., “Controlled deposition of nanoparticle clusters by electrohydrodynamic atomization”, Nanotechnology, Vol. 15, pp. 1519-1523, 2004
4. JANG-UNG PARK et al., “ High-resolution electrohydro dynamic jet printing”, Nature materials, Vol. 6, pp.782-789, 2007
5. 김경태 et al., “홈노즐을 이용한 고유량 정전토출 특성 연구”, 대한기계학회논문집 B, Vol. 31(10), 848-854, 2007
6. Taylor, G.I., “Disintegration of water drops in an electric field”, Proc. R. Soc., Vol. A280, pp. 383-397, 1964