



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2016년09월21일  
 (11) 등록번호 10-1658482  
 (24) 등록일자 2016년09월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 B41J 2/165 (2006.01) B41J 2/135 (2006.01)  
 B41J 2/175 (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2014-0188681  
 (22) 출원일자 2014년12월24일  
 심사청구일자 2014년12월24일  
 (65) 공개번호 10-2016-0078048  
 (43) 공개일자 2016년07월04일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 KR101443248 B1

(73) 특허권자  
 한밭대학교 산학협력단  
 대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)  
 (72) 발명자  
 이정봉  
 서울특별시 강북구 도봉로38길 52 대우아트빌라  
 103호  
 류광기  
 대전광역시 유성구 노은동로 111, 1007동 105호  
 (노은동, 열매마을)  
 (74) 대리인  
 추혁

전체 청구항 수 : 총 4 항

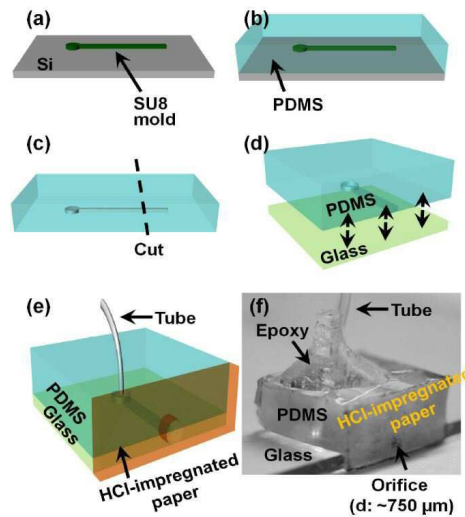
심사관 : 송상용

(54) 발명의 명칭 **마이크로 유체 기반 프린터 노즐 및 이의 제조방법**

**(57) 요약**

본 발명은 마이크로 유체 기반 프린터 노즐 및 이의 제조방법에 관한 것으로서, 공급된 마이크로 유체를 안내 및 토출시키는 마이크로 채널 및 토출구를 형성시킨 기판과, 토출되는 마이크로 유체의 산화막을 제거하는 산화막 제거기를 포함한다. 본 발명에 따르면, 액체금속 토출시 점탄성 산화막이 제거되고, 액체금속 고유의 특성을 회복한 상태로 인쇄가 이루어지므로 신뢰도 높은 균일한 결과물을 얻을 수 있으며, 용매를 통한 분산이나 가열이 필요하지 않으므로 공정 단순화가 가능하고, 종이, 천과 같은 다양한 재료에 적용할 수 있다.

**대표도** - 도4



이 발명을 지원한 국가연구개발사업  
과제고유번호 ITAHB616130110010001000100100  
부처명 미래창조과학부  
연구관리전문기관 정보통신산업진흥원  
연구사업명 해외인재 스카우팅 사업  
연구과제명 나노·바이오융합 SoC 개발  
기여율 1/1  
주관기관 연구사업지원팀  
연구기간 2014.02.11 ~ 2015.02.10

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

유입되는 마이크로 유체를 각각 안내하고 토출시키는 마이크로 채널 과 토출구를 구비한 기판, 그리고  
 염산을 적신 종이로 이루어지고, 상기 토출구 주변에 위치하여 토출되는 상기 마이크로 유체의 산화막을 제거하  
 는 산화막 제거기  
 를 포함하는 마이크로 유체 기반 프린터 노즐.

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

삭제

**청구항 4**

삭제

**청구항 5**

제1항에 있어서,  
 상기 기판은 PDMS(polydimethylsiloxane)인 마이크로 유체 기반 프린터 노즐.

**청구항 6**

제1항에 있어서,  
 상기 마이크로 유체는 갈륨화합물인 마이크로 유체 기반 프린터 노즐.

**청구항 7**

마이크로 패턴이 형성된 마이크로 채널 몰드에 PDMS를 붓고 열처리를 실시하여 PDMS 마이크로 채널을 구비한 PDMS 마이크로 채널 몰드를 형성하는 단계,  
 상기 PDMS 마이크로 채널의 끝부분을 절단하여 상기 끝부분에서 채널을 외부로 노출시켜 외부로 노출된 토출구  
 를 형성하는 단계,  
 상기 PDMS 마이크로 채널의 반대쪽 끝부분에 PTFE(polytetrafluoroethylene) 튜브가 연결될 수 있는 입력 포트  
 를 형성하는 단계,  
 상기 PDMS 마이크로 채널을 산화 플라즈마 처리한 후, 상기 PDMS 마이크로 채널 몰드와 유리 기판을 결합시키는  
 단계,  
 염산을 적신 종이에 구멍을 뚫고, 상기 염산을 적신 종이를 상기 PDMS 마이크로 채널의 측면에 결합시키는  
 단계, 그리고  
 PTFE 튜브를 상기 입력 포트에 삽입시키는 단계  
 를 포함하는 마이크로 유체 기반 프린터 노즐의 제조방법.

**청구항 8**

삭제

**청구항 9**

삭제

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 마이크로 유체 기반 프린터 노즐 및 이의 제조방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 액체금속을 이용하여 잉크젯 인쇄를 수행하기 위한 마이크로 유체 기반 프린터 노즐 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 최근, 잉크젯 인쇄 기술이 컴퓨터에만 이용되는 영역을 넘어서 다양한 분야에 응용되고 있는데, 예를 들어 박막 트랜지스터[1], 고주파 ID[2], 센서[3], 바이오 소자[4] 등에 응용되고 있다. 이러한 분야에서 잉크젯 인쇄 기술은 전기 전도성이 있는 재료의 인쇄에 이용되고 있다. 한편, 전기 전도성이 있는 재료로서 여러 가지 재료가 연구되고 있으며, 땀납(solder)[5], 금속 나노입자[6], 전도성 폴리머[7] 등이 있다. 이와 같이, 잉크젯 기술은 거듭된 발전을 통하여 전도성 물질과 절연 물질 모두 프린팅할 수 있게 되었다. 이 중에서 땀납은 전자 패키징에, 은/금 나노입자는 3차원 맵스 소자에 응용되고 있으며, 잉크젯은 녹인 땀납, 용매에 분산된 나노입자를 각각 이용한다. 이와 같이, 전기전도성이 있는 물질의 잉크젯 프린팅은 용매(solvent)에 분산된 금속 나노입자를 이용하거나 금속을 녹인 상태에서 이용하게 된다. 잉크젯으로 인쇄된 후에 땀납은 상온에서 고체화되고, 금속 나노입자는 100℃ 이상의 온도를 가하여 용매를 휘발시켜서 금속 패턴을 구현한다. 그러나, 이러한 금속 잉크젯은 노즐 막힘 현상과 금속의 산화가 큰 문제로 대두되고 있다[6].

[0003] 한편, 녹인 금속이나 용매에 분산된 금속 나노입자와 달리, 갈륨화합물 액체금속은 상온에서 액체 상태이다[8]. 그러므로 잉크젯 인쇄에 가열이나 용매를 통한 분산이 필요하지 않다. 또 다른 특이한 장점은 액체금속은 인쇄 후에도 인쇄된 기판이 상온을 유지하면 액체 상태를 유지한다는 점이다. 이러한 점을 3차원 프린터에 적용할 경우 거의 무한으로 자유자재로 변형할 수 있는 3차원 금속 패턴을 형성할 수 있다.

[0004] 갈륨화합물 액체금속의 잉크젯 인쇄는 용매에 분산된 나노입자를 사용하는 것이 아니므로 노즐 막힘 현상은 원천적으로 존재하지 않는다. 하지만 갈륨화합물 액체금속은 공기와 접촉시 즉시 얇은 산화막을 형성하여 점탄성을(viscoelastic) 띄고 젤처럼 바뀌면서 더 이상 액체 상태를 유지하지 않는다. 물론, 갈린스탄(갈륨, 인듐, 주석의 화합물)이 산소 1 ppm 미만의 환경에 노출될 경우에는 순수 액체의 특성을 간직하는 것으로 알려져 있다 [8]. 하지만 잉크젯 인쇄의 경우 일반 공기 중에서 사용해야 하므로 순식간에 생성되는 산화막을 제거할 수 있는 방안이 필요하다 할 것이다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 제10-2009-0019845호(공개일 2009.02.25.)

**비특허문헌**

[0006] (비특허문헌 0001) [1] C. M. Hong and S. Wagner, "Inkjet printed copper source/drain metallization for amorphous silicon thin-film transistors," Electron Device Letters, IEEE, vol. 21, pp. 384-386, 2000.

(비특허문헌 0002) [2] M.L. Allen, K. Jaakkola, K. Nummila, H. Seppa, "Applicability of Metallic Nanoparticle Inks in RFID Applications," Components and Packaging Technologies, IEEE Transactions on, vol. 32, pp. 325-332, 2009.

(비특허문헌 0003) [3] R. Beccherelli, E. Zampetti, S. Pantalei, M. Bernabei, and K.C. Persaud, "Design of a very large chemical sensor system for mimicking biological olfaction," Sensors and

Actuators B: Chemical, vol. 146, pp. 446-452, 2010.

(비특허문헌 0004) [4] B. Derby, "Bioprinting: inkjet printing proteins and hybrid cell-containing materials and structures," Journal of Materials Chemistry, vol. 18, pp. 5717-5721, 2008.

(비특허문헌 0005) [5] D.J. Hayes, M.E. Grove, and W.R. Cox, "Development and application by ink-jet printing of advanced packaging materials," in Advanced Packaging Materials: Processes, Properties and Interfaces, 1999. Proceedings. International Symposium on, 1999, pp. 88-93.

(비특허문헌 0006) [6] S.B. Fuller, E.J. Wilhelm, and J.M. Jacobson, "Ink-jet printed nanoparticle microelectromechanical systems," Microelectromechanical Systems, Journal of, vol. 11, pp. 54-60, 2002.

(비특허문헌 0007) [7] M. Singh, H.M. Haverinen, P. Dhagat, and G.E. Jabbour, "Inkjet Printing--Process and Its Applications," Advanced Materials, vol. 22, pp. 673-685, 2010.

(비특허문헌 0008) [8] T. Liu, P. Sen, and C.-J. Kim, "Characterization of Nontoxic Liquid-Metal Alloy Galinstan for Applications in Microdevices," Microelectromechanical Systems, Journal of, vol. 21, pp. 443-450, 2012.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0007] 따라서, 본 발명은 상기한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위해 이루어진 것으로서, 본 발명의 목적은 액체금속 토출시 산화막을 제거하여 잉크젯 인쇄를 수행할 수 있도록 하는 마이크로 유체 기반 프린터 노즐 및 이의 제조 방법을 제공하는데 있다.

### 과제의 해결 수단

[0008] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 마이크로 유체 기반 프린터 노즐은, 공급된 마이크로 유체를 안내 및 토출시키는 마이크로 채널 및 토출구를 형성시킨 기관; 및 토출되는 상기 마이크로 유체의 산화막을 제거하는 산화막 제거기를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0009] 상기 산화막 제거기는 상기 마이크로 채널에 대응하게 형성되거나, 상기 토출구 주변에 형성될 수 있다. 이 때, 상기 산화막 제거기에서는 염산의 공급이 이루어지는 것이 바람직하다.

[0010] 상기 기관은 PDMS(polydimethylsiloxane)를 이용할 수 있으며, 상기 마이크로 유체는 갈륨화합물을 이용할 수 있다.

[0011] 한편, 본 발명의 마이크로 유체 기반 프린터 노즐의 제조방법은, 공급된 마이크로 유체를 안내 및 토출시키는 마이크로 채널 및 토출구를 형성하는 단계; 및 토출되는 상기 마이크로 유체의 산화막을 제거하는 산화막 제거기를 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0012] 상기 기관은 상기 산화막 제거기에 포함된 제거제가 확산되는 확산재료로 구성되며, 상기 산화막 제거기는 상기 마이크로 채널에 대응하게 형성되는 것이 바람직하다.

[0013] 한편, 본 발명의 마이크로 유체 기반 프린터 노즐의 제조방법은, 모재에 포토레지스트를 도포하는 단계; 상기 포토레지스트에 마이크로 채널용 패턴을 형성하는 단계; 제1기관의 재료를 이용하여 마이크로 채널용 패턴의 역상을 복제하여 제1기관을 제작하는 단계; 상기 제1기관의 마이크로 채널로 연결되는 홀을 형성하는 단계; 상기 제1기관에 제2기관을 접합하는 단계; 및 상기 제1기관에 형성된 홀에 마이크로 유체를 공급하는 튜브를 연결하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

## 발명의 효과

- [0014] 상술한 바와 같이, 본 발명에 의한 마이크로 유체 기반 프린터 노즐 및 이의 제조방법에 따르면, 액체금속 토출 시 점탄성 산화막이 제거되고, 액체금속 고유의 특성을 회복한 상태로 인쇄가 이루어지므로 신뢰도 높은 균일한 결과물을 얻을 수 있다.
- [0015] 또한, 본 발명에 따르면, 용매를 통한 분산이나 가열이 필요하지 않으므로 공정 단순화가 가능하고, 종이, 천과 같은 다양한 재료에 적용할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0016] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 의한 마이크로 유체 기반 프린터 노즐의 구성도이다.
- 도 2는 본 발명의 마이크로 유체를 이용하여 방울 형상을 형성하는 과정을 나타낸 개념도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 의한 마이크로 유체 기반 프린터 노즐의 제조과정을 나타낸 흐름도이다.
- 도 4는 본 발명의 마이크로 유체 기반 프린터 노즐의 제조 개념도이다.
- 도 5는 본 발명의 마이크로 유체 기반 프린터 노즐의 분사 특성을 측정하기 위한 장비이다.
- 도 6은 점탄성 산화막 생성유무를 비교한 영상이다.
- 도 7은 액체금속 방울의 분리 및 재결합 현상을 나타낸 영상이다.
- 도 8은 유량과 방울 크기와의 관계를 나타낸 그래프이다.
- 도 9는 액체금속을 이용한 잉크젯 인쇄의 실증예이다.
- 도 10은 액체금속 인쇄에 대한 유연한 소자예의 적용례를 나타낸 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0017] 이하, 본 발명의 마이크로 유체 기반 프린터 노즐 및 이의 제조방법에 대하여 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.
- [0018] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 의한 마이크로 유체 기반 프린터 노즐의 구성도이다.
- [0019] 도 1을 참조하면, 본 발명의 마이크로 유체 기반 프린터 노즐은, 공급된 마이크로 유체를 안내 및 토출시키는 마이크로 채널(C) 및 토출구(H)를 형성시킨 기관(1)과, 토출되는 마이크로 유체의 산화막을 제거하는 산화막 제거기(2)를 포함한다.
- [0020] 여기서, 기관(1)은 PDMS(polydimethylsiloxane)일 수 있으며, 마이크로 유체로는 액체금속인 갈륨화합물을 이용할 수 있다.
- [0021] 한편, 토출구(H)에는 오리피스가 더 형성될 수 있다.
- [0022] 그리고, 산화막 제거기(2)는 마이크로 채널(C)에 대응하게 형성되거나, 토출구(H) 주변에 형성될 수 있다. 기관(1)이 PDMS일 경우에, 산화막 제거기(2)는 마이크로 채널(C)에 대응하게 형성시키는 것이 바람직하다. 이는 PDMS를 통한 염산 등의 확산을 통해 마이크로 유체의 산화막을 제거하기 위함이다. 한편, 산화막 제거기(2)는 기관(1) 또는 별도의 기관에 형성될 수 있다.
- [0023] 이와 같이 구성된 본 발명의 마이크로 유체 기반 프린터 노즐은, 튜브 등을 통해 마이크로 채널(C)로 전달된 마이크로 유체를 토출구(H)를 통해 토출하면서 산화막 제거기(2)에 의해 마이크로 유체의 산화막이 제거된다.
- [0024] 한편, 여기서 잉크젯에서 방울 형상을 형성하는 과정에 대해 설명하기로 한다.
- [0025] 잉크젯은 연속 방출 모드 또는 임의 분사(drop on demand) 모드로 작동한다. 현재 사용되고 있는 대부분의 잉크젯 기술은 필요할 때만 분사하는 임의 분사 모드로 작동되며, 압전 현상이나 열전 현상을 이용한 분사가 이루어지게 된다. 압전 현상은 전극에 전압을 가하면 압전 물질에 기계적 변형이 발생하는 현상을 이용하는 것으로서, 이러한 기계적 변형이 잉크가 담겨 있는 챔버(chamber)가 눌러져 잉크가 분사되는 방식이다. 열전 현상은 잉크가 담겨 있는 챔버에 저항체를 넣어 전류를 저항체에 흘리면 발생하는 열이 기포를 형성하게 되고 이 기포로 인

해 잉크가 분사되는 방식이다.

- [0026] 한편, 본 발명 역시, 마이크로 채널에 마이크로 유체인 액체금속을 주입하고, 유량의 변화를 통하여 액체금속의 표면장력으로 인해 방울이 발생시킬 수 있다.
- [0027] 도 2는 핀치오프와 레일리 불안정 현상으로 인해 발생하는 액체금속 방울 분사의 개념을 나타낸 도면이다. 도 2의 (a)와 같이 유량이 분당 0.5 mL 미만인 경우에는 액체금속은 개개의 방울로 분출된다. 유량이 적어 분사 속도가 낮은 경우, 주입된 액체금속이 필연적으로 공기와 접촉하며 얇은 산화막을 형성하지만, 노즐 부위에 있는 산화막 제거기(2)(염산을 적신 종이) 때문에 염산과 직접 접촉 또는 염산 증기에 의해 산화막이 제거된다. 이에, 이러한 화학반응으로 점탄성 산화막이 제거되고, 523.8 mN/m 정도의 높은 표면장력을 갖는 갈륨화합물 액체금속 고유의 특성을 회복하게 된다. 점탄성 산화막이 제거된 액체 상태로 복원되고 표면장력이 높은 액체금속의 부피는 가해진 유량에 따라 노즐부에 특정한 크기가 될 때까지 구(spherical) 형상을 유지하면서 증가하게 되고, 임계점이 다다르면 노즐에서 핀치오프 현상으로 분출되게 된다. 한편, 유량이 0.5 mL/m 이상일 경우, 도 1의 (b)와 같이 젯트 스트림 형상으로 분출된다. 이러한 층류(laminar) 젯트는 레일리 불안정으로 인해 작은 방울로 분리되게 된다. 젯트 분사 속도가 일정하면 액체의 표면장력 및 밀도에 따라 젯트 분리 시간과 분리 길이 가 결정된다. 또한 노즐 직경에 따라 젯트 직경과 방울 직경이 결정된다.
- [0028] 그러면, 여기서 상기와 같이 구성된 프린터 노즐의 제조방법에 대해 설명하기로 한다.
- [0029] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 의한 마이크로 유체 기반 프린터 노즐의 제조과정을 나타낸 흐름도이다.
- [0030] 도 3을 참조하면, 산화막이 형성된 모체에 포토레지스트를 도포한다(S1).
- [0031] 포토레지스트에 마이크로 채널용 패턴을 형성한다(S2).
- [0032] 제1기판의 재료를 이용하여 마이크로 채널용 패턴의 역상을 복제하여 제1기판을 제작한다(S3). 한편, 제1기판의 제작에 있어 토출구가 형성되어 있지 않을 경우에는 제1기판 절단 등을 통해 토출구를 형성시키는 과정을 더 진행한다.
- [0033] 제1기판에 대해, 마이크로 채널로 연결되는 홀을 형성시킨다(S4).
- [0034] 제1기판에 제2기판을 접합시킨다(S5).
- [0035] 제1기판에 형성된 홀에 튜브를 연결한다(S6).
- [0036] 한편, 토출구 형성 과정에서 오리피스를 형성시키는 과정을 더 진행할 수 있다.
- [0037] 본 실시예에서는 반도체 공정을 통한 제조 과정의 일례를 예시하고 있으나, 공급된 마이크로 유체를 안내 및 토출시키는 마이크로 채널 및 토출구를 형성시킬 수 있고, 토출되는 마이크로 유체의 산화막을 제거하는 산화막 제거기(2)를 형성시킬 수 있는 제조 과정을 수행할 수 있으면 된다. 이 때, 기판은 산화막 제거기(2)에 포함된 제거제(염산)가 확산되는 확산재료로 구성되는 것이 바람직하며, 이 경우, 산화막 제거기(2)는 마이크로 채널에 대응하게 형성되는 것이 바람직하다.
- [0038] [실시예]
- [0039] 도 4는 본 발명의 마이크로 유체 기반 프린터 노즐의 제조 개념도이다.
- [0040] 도 4를 참조하면, 먼저, 산화막이 형성된 실리콘 웨이퍼 상에 SU-8 2025 포토리지스트를 25 um 두께가 되도록 스핀 코팅하고, 65℃에서 2분, 95℃에서 3분, 다시 65℃에서 2분 동안 열처리를 수행한다. 이어서, 140 mJ/cm<sup>2</sup>의 에너지로 자외선 노광을 진행하고, 후공정 열처리로 상기한 열처리 과정을 반복하여 마이크로 채널 몰드를 형성한다. 다음으로, 열처리 후 샘플을 현상액에 담가 3분 정도 현상을 실시하면 도 4의 (a)와 같은 패턴이 형성된다. 이렇게 형성된 SU-8 몰드에 PDMS를 붓고 95℃에서 2시간 동안 열처리한 후(도 4의 (b)), 형성된 PDMS 마이크로 채널의 끝부분을 절단하여 끝부분에서 채널(토출구)이 외부에 노출되도록 한다(도 4의 (c)). 본 발명에서는 일례로서, 마이크로 채널은 길이 3 mm, 선포는 200 um과 500 um 두가지 사이즈로 제작한다. 마이크로 채널의 반대쪽 끝부분에는 PTFE(polytetrafluoroethylene) 튜브가 연결될 수 있는 3 mm 직경의 입력 포트를 형성

한다. 마이크로 채널은 산화 플라즈마 처리 후, 유리 기판과 결합(bonding)시키고(도 4의 (d)) 접촉력을 강화하기 위해 115℃에서 10분간 열처리한다. 이후, 염산을 적신 종이에 700 um 직경의 구멍을 뚫고, 에폭시를 이용하여 마이크로 채널의 측면에 결합(bonding)시키고, PTFE 튜브를 입력 포트에 삽입한다(도 4의 (e)). 튜브가 삽입된 연결 부위는 누출(leaking)이 없도록 에폭시를 이용하여 완전하게 실링(sealing)하고(도 4의 (f)), PTFE 튜브의 끝단에 펌핑수단을 연결한다.

[0041] 도 5는 본 발명의 마이크로 유체 기반 프린터 노즐의 분사 특성을 측정하기 위한 장비이다.

[0042] 도 5를 참조하면, 상기한 바와 같이 제조된 본 발명의 마이크로 유체 기반 프린터 노즐의 잉크젯 분사 특성을 측정하기 위해, 고속 카메라를 이용하여 초당 1000 프레임에서 초당 6000 프레임으로 영상을 촬영한다. 고속카메라는 광학현미경과 연결하여 잉크젯 분출 부위의 상세한 영상을 관찰한다. 갈린스탄 액체금속의 유량은 펌핑수단을 이용하여 정밀하게 제어하며 주입한다. 잉크젯 분출의 동영상을 촬영하여 프레임별 영상 분석을 실시한다.

[0043] 도 6은 점탄성 산화막 생성유무를 비교한 영상이다.

[0044] 도 6을 참조하면, 염산을 적신 종이가 결합되지 않은 프린터의 경우 유량이 분당 0.5 mL 미만일 때는 도 6의 (a)에서와 같이 액체금속의 부피가 증가하지만 액체금속 잉크젯 분사가 이루어지지 않음을 알 수 있다. 이는 액체금속의 점탄성(viscoelastic) 산화막이 PDMS 표면에 달라붙기 때문이다. 이와 대조적으로 염산을 적신 종이가 결합된 프린터의 경우 액체금속이 노즐에서 분출되는 순간에 염산과 반응하여 점탄성 산화막이 제거되는 것을 확인할 수 있다(도 6의 (b)). 도 6의 (b)에서와 같이, 액체금속 방울의 핀치오프가 잘 이루어짐을 알 수 있다. 핀치오프된 액체금속 방울의 직경은 약 500 um 이며 부피는 약 50 nL 이다. 고속카메라로 촬영한 프레임의 영상에서와 같이, 액체금속 방울의 모양이 구형에 가까운 형태가 아님을 확인할 수 있는데, 이는 액체금속 방울이 고속으로 분출되는 과정에서 진동을 일으키기 때문인 것으로 해석된다.

[0045] 도 7은 액체금속 방울의 분리 및 재결합 현상을 나타낸 영상이다.

[0046] 도 7을 참조하면, 유량이 분당 0.5 mL을 초과할 경우에는 레일리 불안정으로 인한 젯팅이 이루어지고(도 7의 (a)), 방울 분리 현상이 발생함을 확인할 수 있다(도 7의 (b)). 방울 분리 현상에 의해 형성된 액체금속 방울의 크기는 다양한 사이즈가 되는데, 이는 몇 개의 방울이 기판에 인쇄되기 전에 on-the-flight 재결합이 일어나기도 하기 때문이다(도 7의 (c)). 여기서 중요한 점은 핀치오프 현상이든 레일리 불안정 현상이든 액체금속 잉크젯에서 노즐 막힘 현상이나 액체금속 산화 현상이 일어나지 않는다는 점이다.

[0047] 도 8은 유량과 방울 크기와의 관계를 나타낸 그래프이다.

[0048] 도 8을 참조하면, 유량이 분당 0.5 mL을 초과하는 경우 유량 조절에 따라 액체금속의 직경을 1 um(약 50 aL) 에서 200 um(약 4 pL) 까지 쉽게 조절하는 것이 가능하다. 유량이 증가하면 잉크젯의 젯팅 속도가 빨라지고 젯팅 파장이 줄어들어 작은 크기의 액체금속이 만들어질 가능성이 높아진다.

[0049] 도 9는 액체금속을 이용한 잉크젯 인쇄의 실증예이다.

[0050] 도 9를 참조하면, 본 발명의 잉크젯 인쇄를 실질적으로 응용하는 예를 실증하기 위해 약 45 um 선폭, 길이 약 5.4 cm의 전선을 실리콘 웨이퍼, 종이, PDMS 시트(sheet)에 액체금속 잉크젯 인쇄로 구현하였다. 여기서 주목할 점은 인쇄된 갈린스탄이 액체 상태를 유지하지만 인쇄된 기판 상에서 액체금속의 표면장력과 액체금속의 기판과의 접착력과의 균형에 의해 흘러내리지 않는다는 점이다.

[0051] 도 10은 액체금속 인쇄에 대한 유연한 소자에의 적용례를 나타낸 도면이다.

[0052] 도 10을 참조하면, 종이 위에 인쇄한 액체금속 전선의 경우 종이를 자유롭게 구부릴 수 있다. 종이에 인쇄된 액

액체금속 전선의 형상은 beads-on-strings 형상으로 비드(bead)의 최대 선폭은 90 um, 스트링(string)의 선폭은 45 um이었다. 액체금속 전선이 인쇄된 종이를 구부리고 곡면에 접촉시키는 실험을 통하여 종이 기반 유연한 전자 소자의 가능성을 확인할 수 있다. 또한 도 10의 (a)와 같이 LED를 이용하여 구부리고 접힌 종이 상태에서도 액체금속 전선이 끊어지지 않음을 확인할 수 있다.

[0053] 상기한 바와 같이, 본 발명에서는 PDMS 기반 잉크젯 프린터에 염산을 적신 종이를 노즐부에 설치하여 노즐 막힘이 없는 금속 프린터를 제작하고 이 프린터를 이용하여 연속적으로 갈륨 액체금속 방울을 잉크젯으로 구현하였다. 잉크젯으로 분출되는 액체금속 방울은 프린터에 가해지는 유압에 따라 핀치오프(pinch off) 현상이나 레일리 불안정(Rayleigh instability) 현상을 통하여 분출되었다. 이 잉크젯 기법을 통하여 실리콘 웨이퍼 상에 또는 기계적으로 유연한 PDMS와 종이 상에 액체금속 전선을 형성하였다. 종이 위에 인쇄된 액체금속 전선의 경우 종이 전체를 구부린 상태에서도 인쇄된 액체금속 전선이 형상이 변형되거나 전선이 끊기는 현상이 없음을 확인하였다.

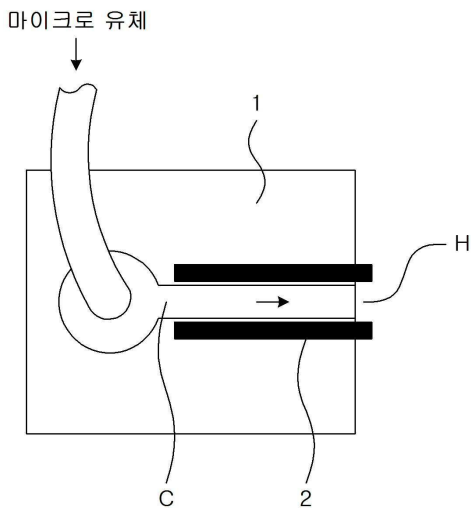
[0054] 이상에서 몇 가지 실시예를 들어 본 발명을 더욱 상세하게 설명하였으나, 본 발명은 반드시 이러한 실시예로 국한되는 것이 아니고 본 발명의 기술사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 다양하게 변형실시될 수 있다.

**부호의 설명**

- [0055] 1 : 기관
- 2 : 산화막 제거기

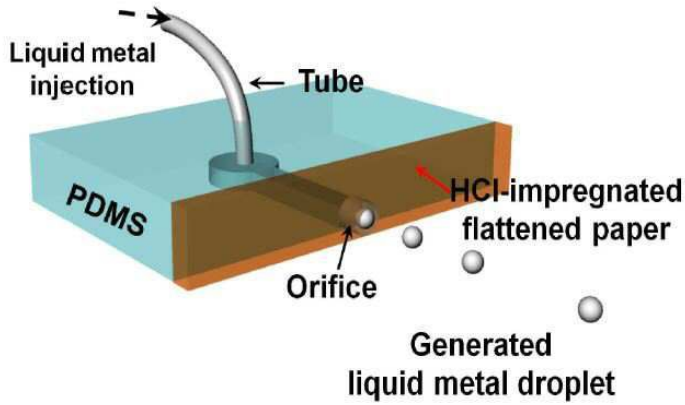
**도면**

**도면1**

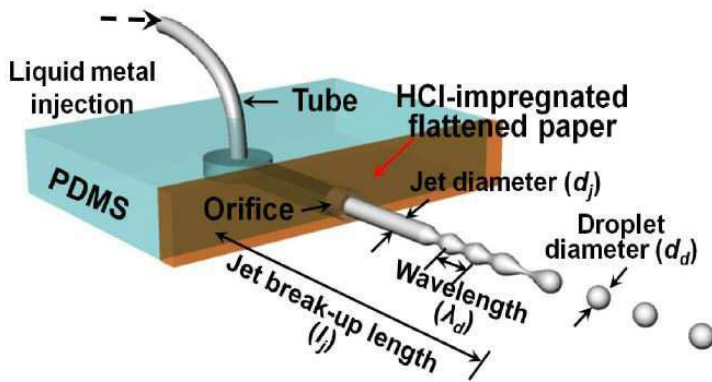


도면2

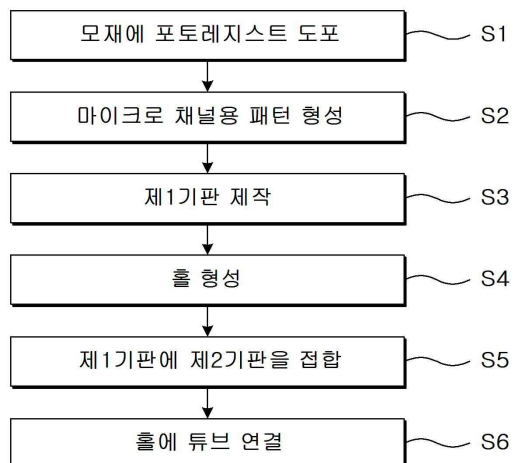
(a) 'Pinch off at low flow rate'



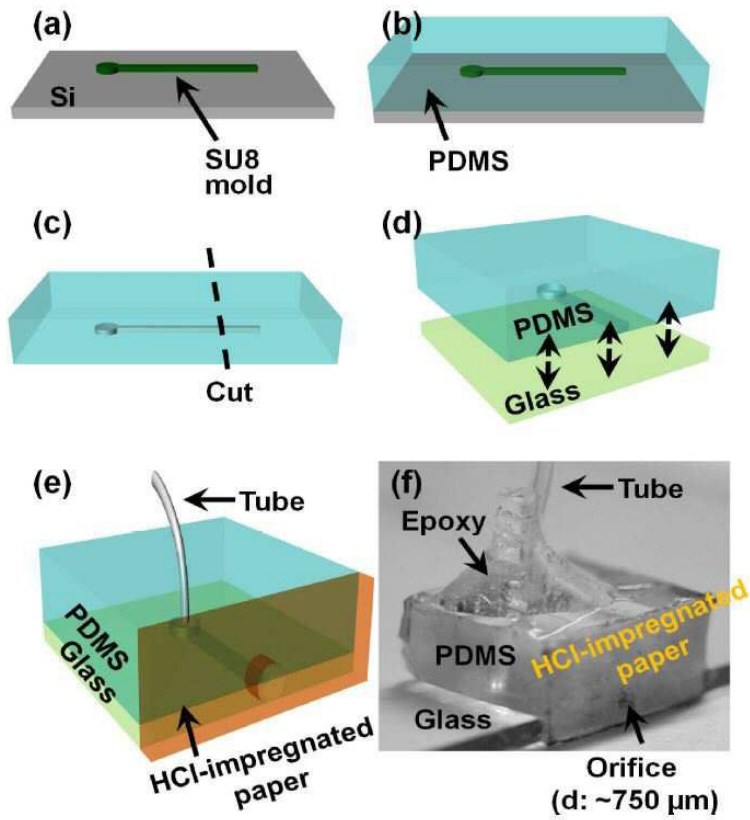
(b) 'Rayleigh instability at high flow rate'



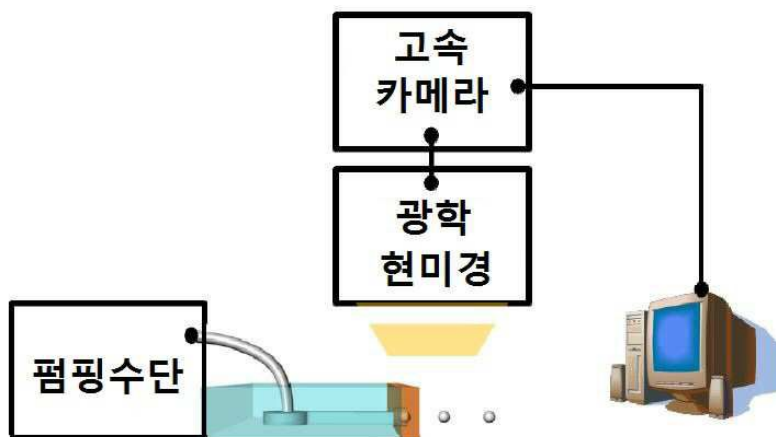
도면3



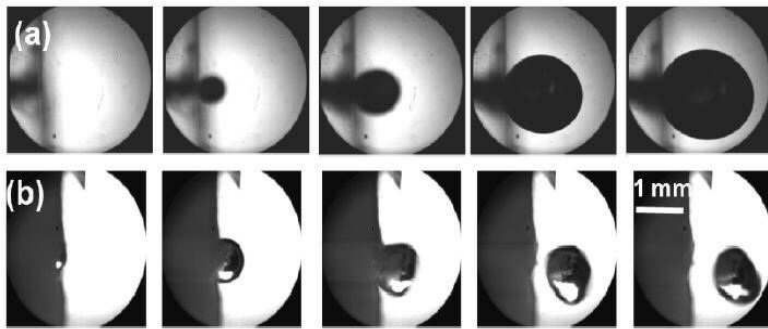
도면4



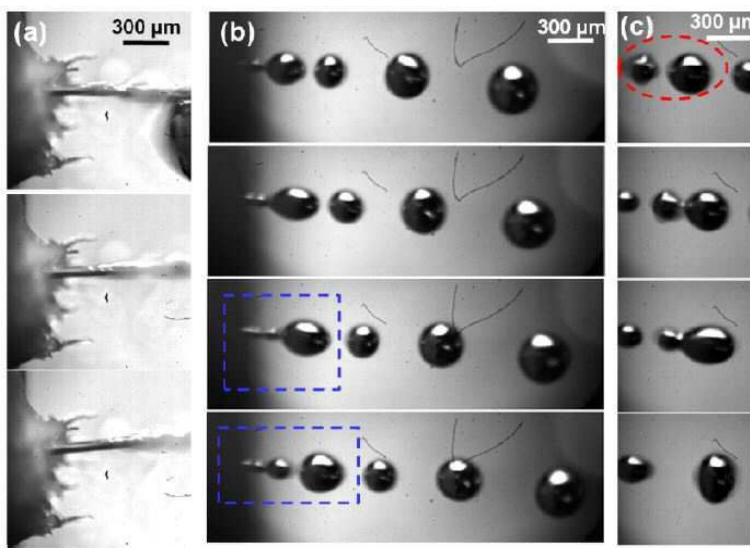
도면5



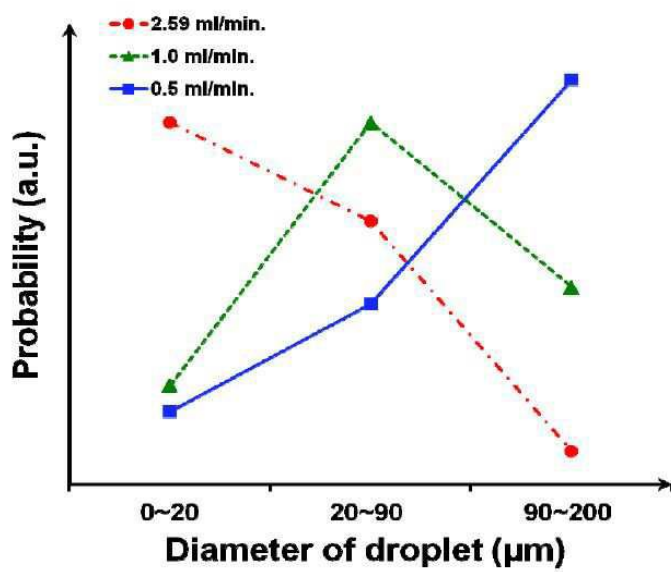
도면6



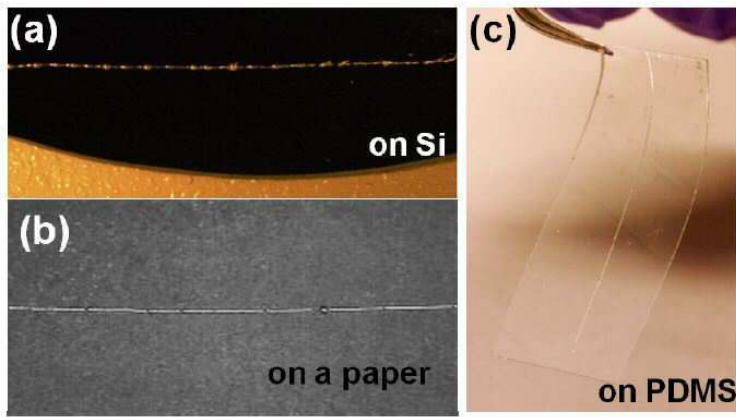
도면7



도면8



도면9



도면10

