

잉크젯을 이용한 미세패턴에 관련된 일반 이슈들 Issues of Inkjet Printing for Fine Resolution Patterning

*#신동윤¹, 김동수¹

*#D-Y. Shin(dongyoun.shin@gmail.com)¹, D. S. Kim¹

¹ 한국기계연구원 나노기계연구본부

Key words : inkjet, fine resolution patterning

1. 서론

기존의 포토리소그래피로 대표되는 패턴 방식은 생산제품의 크기가 증대될수록 포토마스크 비용 증대, 포토마스크의 처짐에 의한 패턴 왜곡현상, 노광기 가격 상승, 낮은 재료 사용효율, 그리고 높은 운용비용을 요구하기에, 이를 대체하기 위한 새로운 패턴방식의 필요성이 꾸준히 제기되어 왔다.

포토리소그래피에 대한 대안으로써 나노임프린트[1], 마이크로콘택트 프린팅[2], 그리바이/플렉소/오프셋 프린팅과 같은 롤 프린팅 방식[3] 등과 같은 접촉식 프린팅 방식들이 요구되는 패턴사양에 따라 다양하게 제기되었다.

이와 같은 접촉식 프린팅 방식, 특히 롤 프린팅 방식의 경우, 롤의 마스터 플레이트와 기관간의 표면에너지에 따라 잉크 전이율이 영향을 받으며[4], 점도와 표면장력 등의 시간변수에 따른 동적인 효과를 고려했을 경우, 잉크 전이율에 대한 제어가 더욱 어려워진다.

또한, 접촉식이라는 방식적 특성상, 기관상의 오염물질에 의해 마스터 플레이트의 패턴부 표면에너지가 국부적으로 변하는 문제점과 미세패턴, 특히 고중횡비의 패턴제작시 스탬프의 기계적 변형에 의한 패턴품질의 왜곡현상, 마지막으로 수 m² 이상의 대면적 패턴에 있어서 마스터 플레이트 혹은 스탬프의 제작비용과 처짐문제, 기계적 변형과 같은 문제점들이 우려된다.

또한, 접촉방식의 패턴법들은 마스터 플레이트와 이로부터 복제해낸 스탬프 등이 요구되는 바, 패턴 면적이 증대될수록 마스터 플레이트와 스탬프의 생산비용이 증대한다는 문제점을 내포하고 있다.

이와 같은 마스터 플레이트 방식 혹은 복제 스탬프를 이용한 직접 접촉방식의 패법과는 달리, 비접촉 방식의 직접 패턴법(Direct Write)인 잉크젯, 특히 피에조 압전소자를 이용한 피에조 Drop-On-Demand(DOD) 잉크젯 방식을 미래의 전자제품과 디스플레이 제품의 패턴에 적용하기 위한 연구개발이 활발히 진행되어 왔으며, Table 1에 보인 바와 같이 2010년경에 잉크젯 방식이 디스플레이 생산공정에 집중적으로 사용될 것으로 예측하고 있다[5].

본 논문에서는 피에조 Drop-On-Demand(DOD) 잉크젯 방식의 미세패턴에 있어서의 공정이슈를 살펴보고자 하겠다.

Table 1 Share of inkjet in various applications[5]

Applications	Market size 2011	R2R	Inkjet	Other
Display	US\$ 450M	5%	75%	20%
Lighting	US\$ 300M	15%	5%	80%
Solar Cell	US\$ 100M	10%	5%	85%
Sensor	US\$ 80M	0%	5%	95%
Packaging	US\$ 250M	20%	10%	70%
Total market	US\$ 1,250M	22%	10%	68%

2. 잉크젯 패턴법의 현황

사무실이나 가정에서 흔히 살펴볼 수 있는 잉크젯 프린터, 특히 Epson 사의 잉크젯 프린터는 압전소자를 이용하여 잉크에 압력파를 발생시킴으로써 노즐을 통해 잉크액적을 토출함을 특징으로 한다.

잉크젯 카트리지에 있는 기존의 그래픽 아트용 잉크를 전자배선, 축전기, 저항, 반도체 소자에 요구되는 성질을 만족하는 잉크로 대체하여 전자소자를 인쇄함으로써, 반도체 공정을 통해 제작되는 전자 및 디스플레이 소자의 생산비용을 대폭 낮추겠다는 것이 전자, 특히 디스플레이 산업계의 연구개발 방향이며, 현재 랩스케일에서 얻어진 최소 패턴선폭은 Fig. 1에 보인 바와 같이 4 μm 노즐을 이용하였을 때 8 μm 정도이다[6].

상업적 규모로 양산되는 잉크젯 프린트 헤드를 이용하였을 때의 최소선폭은 Fujifilm Dimatix 사에 의해 얻어진 20 μm 수준이다.

그러나, 유의할 점은, 이러한 패턴선폭은 아직까지는 양산스케일에 적용될 수 있는 수준은 아니며, 파일럿이나 양산스케일에서는 이보다 패턴선폭이 선폭이 더 확장될 것이라고 예상되며, 현재 양산 가능한 수준의 최소선폭은 대략 40~50 μm 내외인 것으로 판단된다.

잉크젯과 타방식을 혼용한 하이브리드 패턴법을 적용할 경우 최소 패턴선폭은 5 μm 까지 실증되었으며, 트랜지스터 소자(TFT)의 게이트 채널을 패턴하기 위해 표면에너지 차이를 이용할 경우 500 nm의 게이트 채널을 확보할 수 있음이 보고되었다[7]. 특히, 기패턴된 패턴의 표면에너지에 운집한 계면활성제 분자층의 두께를 게이트 채널로 응용할 경우 Fig. 2에 보인 바와 같이 100 nm 이하의 게이트 채널을 얻을 수 있다[8].

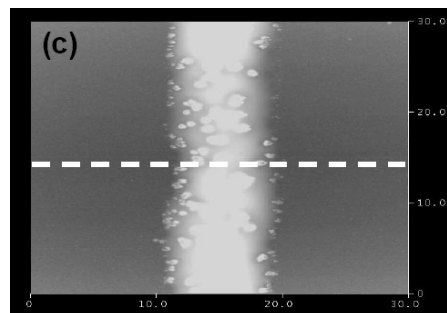


Fig. 1 Inkjet printed gold track with the nozzle size of 4 μm



Fig. 2 Self-Aligned Printing (SAP) process and its result

Table 2 Development trend of inkjet print heads by Fujifilm Dimatix

nozzle diameter μm	Model
52	Galaxy PH 256/80 HM Nova JA 256/80 AAA, PH 256/80 AAA
50	SL-128 AA, SM-128 AA
42	Galaxy JA 256/50 AAA, PH 256/30 HM
36	Galaxy JA 256/30 HM, PH 256/30 AAA
35	SE-128 (SE-S)
27	SX-128, SX2, SX3
<20	?

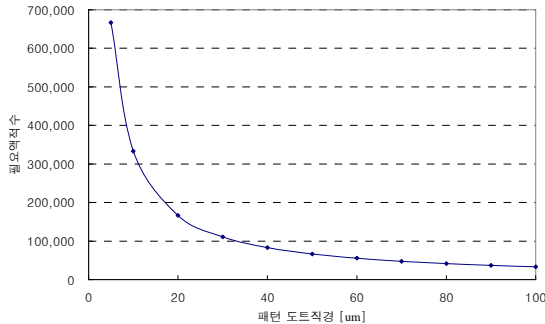


Fig. 3 Required number of droplets with given dot diameters when the dot pitch is set 30% of the dot diameter

3. 공정이슈

30 μm 이하의 미세선폭을 잉크젯을 통해 달성하기 위해 잉크젯 프린트 헤드의 노즐 사이즈를 줄이는 것이 일반적인 접근방법이었다. 예를 들어, Fujifilm Dimatix 사의 경우 경우, Table 2에 보인 바와 같이 지속적으로 더 작은 노즐을 가지는 산업용 잉크젯 프린트 헤드를 제작하고 있다.

그러나, 노즐 구경이 작아질수록 잉크젯 프린트 헤드의 제조수율이 떨어져 구매비용이 상승하는 반면, 유지보수가 힘들어지고, 젯팅 불량률이 상승하여 운용 신뢰성이 떨어지고, 잉크젯 프린트 헤드의 수명이 짧아지는 등의 문제점들이 발생할 수 있다.

또한, Fig. 3에 보인 바와 같이 같은 단위길이를 패턴하기 위해서는 같은 dot pitch/droplet diameter 비율 하에서 더 많은 잉크액적이 필요한데, 미세선폭 패턴 수율을 유지하기 위해서는 더 엄격한 젯팅 신뢰성이 요구된다.

미세패턴을 위해 잉크액적의 크기가 줄어들수록 액적의 부피는 액적반경의 3 제곱에 비례해서 줄어든다. 따라서, 동일한 토출속도를 가지더라도 잉크액적이 작을수록 외부 환경적 요인에 더 민감하게 반응하여 탄착오차가 증대될 수 있다는 것도 문제점으로 지적될 수 있다.

잉크젯 미세패턴에서 패턴선폭을 30 μm 이하로 축소하는 것과 더불어 패턴두께가 급격히 줄어드는 것이 문제점의 하나인데, 예를 들어, 1 milinch (25.4 μm)에 근접하는 미세선폭이 요구되는 PCB 기판과 같은 제품을 잉크젯으로 패턴하고자 하는 경우, 잉크액적이 작아질수록 액적당 전도성 입자의 함유량이 급속히 줄어들어 전도성 패턴두께가 충분히 확보되지 못하며, 이는 결국 전도성 패턴의 단위길이당 저항의 증가를 초래하여 전자회로에서의 신호지연을 야기할 수 있다.

마지막으로, raster scan 방식의 잉크젯 패턴방식 특성상 잉크젯 프린트 헤드의 직진방향의 패턴특성과 직진방향에 직각인 방향의 패턴특성이 다르다는 문제점이 있다.

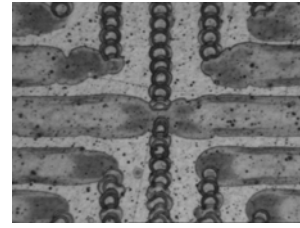


Fig. 4 Pattern characteristics with the raster scanning of a piezo DOD inkjet print head

잉크젯 프린트 헤드의 이동방향으로 패턴이 이뤄질 때는 이전 잉크액적이 기판상에 탄착후 건조하기 이전에 후속 잉크액적이 탄착되는데 반해, 잉크젯 프린트 헤드의 이동방향과 수직방향 패턴을 할 경우, 잉크액적이 일정이상 건조된 상태에서 후속 잉크액적이 탄착되므로 Fig. 4에서 보는 바와 같이 가로방향 패턴과 세로방향 패턴이 서로 다른 선폭특성을 보임을 알 수 있다. 이는 필연적으로 잉크젯 프린트 헤드의 진행방향과, 그에 수직방향의 패턴선폭들에 대한 불균일성을 야기하므로 패턴 알고리즘 개발시 이러한 현상을 고려할 필요성이 있다.

4. 결론

본 논문을 통해 피에조 DOD 잉크젯을 이용한 미세선폭 패턴에 있어, 더 작은 노즐을 사용하여 더 미세한 패턴을 수행하는 것이 일반적인 경향이었으나, 이러한 경향은 잉크젯 프린트 헤드의 유지보수성과 신뢰성, 그리고 충분한 작동수명과 수명편차의 보장에 부정적인 영향을 미침을 논하였다. 또한, 패턴선폭의 축소보다 오히려 적절한 종횡비를 달성하기 위한 노력과, 균일하며 반복적인 패턴품질을 달성할 수 있는 패턴 알고리즘에 대한 연구개발이 병행되어야 함을 알 수 있다.

참고문헌

1. Austin, M. D., and Chou, S. Y., "Fabrication of 70 m channel length polymer organic thin-film transistors using nanoimprint lithography," *Appl. Phys. Lett.*, **1 23**, 4431-4433, 2002.
2. Kim, C., Burrows, P. E., Forrest, and S. R., "Micropatterning of Organic Electronic Devices by Cold-Welding," *Science*, **2**, 831-833, 2000.
3. Pudas, M., Hagberg, J., and Leppävuori, S., "Printing parameters and ink components affecting ultra-fine-line gravure-offset printing for electronics application," *J. Eur. Ceram. Soc.*, **24**, 2943-2950, 2004.
4. Darhuber, A. A., Miller, S. M., Trojan, S. M., and Wagner, S., "Process Simulation for Contact Print Microlithography," *Proceedings of the International Conference on Modeling and Simulation of Microsystems*, San Diego, CA, March, 28-31, 2000.
5. I.T. Strategies, "Plastic Electronics – Printing's Potential as a Manufacturing Technology," 2005.
6. Wang, Y., Bokor, J., and Lee, A., "Maskless Lithography Using Drop-On-Demand Inkjet Printing Method," *Proceedings of SPIE*, Bellingham, WA, **3 4**, 628-636, 2004.
7. Wang, J. Z., Zheng, Z. H., Li, H. W., Huck, W. T. S., and Sirringhaus, H., "Dewetting of conducting polymer inkjet droplets on patterned surfaces," *Nat. Mater.*, **3**, 171-176, 2004.
8. Sele, C. W., Werne, T., Friend, R. H., and Sirringhaus, H., "Lithography-Free, Self-Aligned Inkjet Printing with Sub-Hundred-Nanometer Resolution," *Adv. Mater.*, **1**, 997-1001, 2005.