

다단계 백색광 조사법을 이용한 잉크젯 프린팅 기법으로 인쇄된 은잉크의 소결에 관한 연구

Two-step flash light sintering process for crack free inkjet-printed Ag films

*박성현, #김학성

*S. H.Park, #H. S. Kim (kima@hanyang.ac.kr)

¹한양대학교 기계공학과

Key words : Flash light irradiation, preheating, sintering, printed electronic, inkjet printing

1. 서론

최근 인쇄전자기술은 제조비용과 공정시간 그리고 물질낭비를 줄일 수 있으며 유연 디스플레이, 유연 태양전지, OTFT 그리고 OLED와 같은 다양한 분야에 응용이 가능하기 때문에 포토리소그래피의 대체기술로써 각광받고 있다 [1-3]. 이러한 인쇄전자기술에서는 녹는점이 낮고 열적, 전기적 특성이 좋은 금, 은 그리고 구리 나노입자가 주로 사용되고 있으며 이러한 금속 나노입자들은 잉크젯 프린팅 기법으로 사용되기 위해 계면활성제, 바인더 그리고 분산제와 같은 고분자 물질에 분산하여 사용된다. 인쇄전자기술에서는 이렇게 인쇄된 나노금속잉크가 전도성을 가지기 위해 나노입자들을 녹여 연결고리를 만드는 소결공정을 거친다. 하지만, 현재까지 사용되어 온 열소결법, 레이저 소결법, 고주파 소결법, 플라즈마 소결법 등은 각각 기관의 열적한계, 대면적 소결의 불가, 소결깊이의 한계, 진공공정 등의 시스템적 문제로 인하여 한계를 가지고 있었다. 따라서, 이 논문에서는 백색광 조사법을 이용하여 잉크젯 프린팅 기법으로 인쇄된 은잉크를 결함없이 소결함으로써 백색광 조사법이 소결공정에 가장 적합한 방법이라는 것을 증명하고자 한다. 백색광 조사법은 무엇보다도 상온·대기압 조건에서 초단시간(~ms)에 인쇄된 잉크 패턴을 소결할 수 있다는 큰 장점과 더불어 구리, 니켈과 같은 산화가 발생하는 전도성 금속 잉크의 소결도 가능하다는 점에서 큰 장점이 있다 [1]. 하지만, 예전 논문에서 시도한 결과, 백색광 조사법으로 소결한 은잉크는 패턴 표면의 크랙과 파열 내부의 스웰링 현상 등이 발생하는 것을 확인할 수 있었다 [2]. 이에 이 논문에서는 위와 같은 결함 등을 없애기 위해 예열단계와 소결단계로 구성된 다단계 백색광 조사법을 적용하였으며 더불어 전

기적 특성도 좋아진 것을 확인할 수 있었다. 은잉크의 미시구조의 변화와 전기적 특성은 각각 전자주사현미경-집속이온빔과 LCR 미터를 사용하여 측정하였으며 그 특성을 열소결한 은잉크패턴과 비교분석하고 최적소결 조건을 제시하고자 한다.

2. 실험

먼저, 기관으로 사용할 225 μm의 폴리이미드 필름의 표면을 플라즈마 및 초음파처리를 한 후, 은 잉크 (57.2%wt, Harima Chemical Co.)를 30 μm직경의 노즐로 구성된 인자헤드가 부착된 잉크젯 프린팅기를 이용하여 기관에 인쇄를 한다. 이 때, 인쇄된 패턴은 여러번의 반복작업으로 너비, 두께 그리고 길이가 각각 100 μm, 1.0 μm 그리고 5mm 가 되며 인쇄된 즉시 10분동안 상온건조한다. 이후, 380nm~1.0 μm의 넓은 파장영역의 빛을 주사하는 백색광을 이용하여 소결하며 소결과정은 앞서 설명한 바와 같이 예열단계와 소결단계로 나뉘어

Table 1 The resistance and resistivity with respect to sintering conditions

조건	예열		소결		저항 Ω	비저항 nΩm
	펄스 수	에너지 J/cm ²	펄스 수	에너지 J/cm ²		
건조	1		No		X	X
소결	2		1	20	6.3	X
예열	3	10			X	X
	4	15			37	5772
다단계 소결	5	10		10	9.8	123
	6	15		15	8.2	74.0
	7	15	1	10	11	336
	8	10		20	5.7	36.3
열	9	220° C, 1h		5.5	40.8	

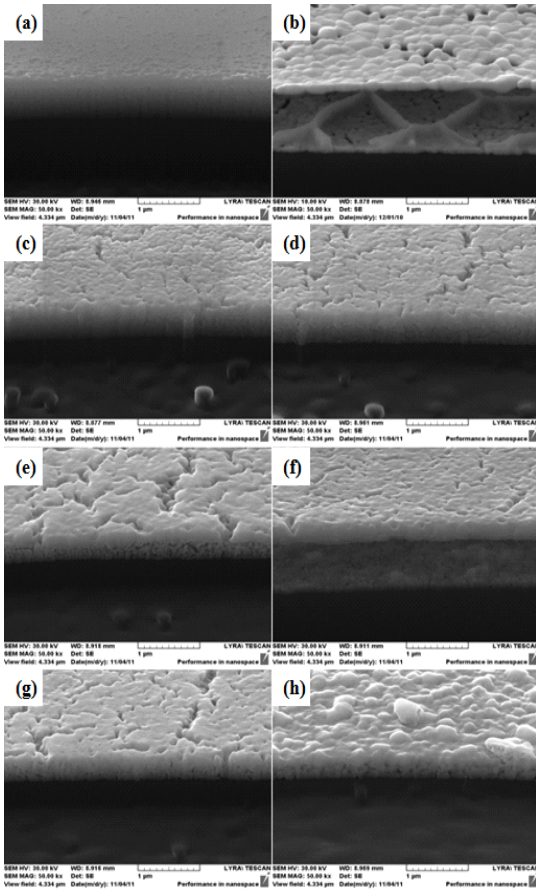


Fig. 1 FIB images of (a) dried, (b) 20J/cm² single step sintered, (c) 10J/cm² preheated, (d) 15J/cm² preheated, (e) 10J/cm² preheated-10J/cm² sintered, (f) 15J/cm² preheated-10J/cm² sintered, (g) 10J/cm² preheated-20J/cm² sintered Ag film and (h) thermally sintered Ag film

진행된다. 예열단계와 소결단계는 10J/cm²와 20J/cm² 사이의 에너지를 5J/cm²의 간격으로 나누어 조건을 구성하였으며 예열단계는 15개의 펄스를 30ms의 펄스간격을 두고 빛을 조사하였으며 소결단계는 단 1개의 펄스로 조건에 해당하는 에너지를 조사하였다는 차이가 있다. 비교를 위해, 열소결법은 220도의 노에서 1시간동안 소결을 하였다.

3. 결과 및 토의

Fig 1은 각각 다른 조건으로 소결된 은잉크 패턴의 단면과 표면상태를 전자주사현미경-집속이온

빔 (LYRA FEG 1, TESCAN)을 이용하여 찍은 사진이다. Fig. 1 (a)는 건조된 은잉크패턴으로 아직 고분자물질이 남아 있기 때문에 전도성이 좋지 않아 흐린 이미지를 보여주며 Fig 1 (b)는 예열단계 없이 백색광을 조사하여 소결한 은잉크패턴의 사진이며 갑작스러운 광에너지의 영향으로 기화된 고분자 기체 압력으로 인해 은잉크 패턴이 부풀어 상층과 하층으로 분리된 모습을 보인다. Fig 1 (c)와 (d)는 예열단계만 진행된 은잉크패턴으로 10J/cm² 조건은 아직 고분자 물질이 남아 있어 흐린 이미지를 보여주는 반면 15J/cm² 조건은 상층부가 이미 소결된 이미지를 보여준다. 이는 Fig 1 (e)-(g)의 은잉크의 패턴에서 알 수 있듯이 예열단계가 15J/cm²일 경우, 예열단계에서 소결된 패턴의 상층부로 인해 소결단계에서의 광에너지에 의해 기화된 고분자기체가 내부압력을 형성하게 되어 상층과 하층을 분리하게 된다 (Fig 1 (f)). 하지만, 예열단계가 10J/cm²일 경우, 조사되는 소결단계에서의 에너지에 따라 그 소결정도만이 달라지며 최적조건인 10J/cm²-20J/cm² 조건의 은잉크패턴은 열소결된 은잉크의 패턴보다 더 좋은 단면 및 표면상태를 가지는 것을 확인할 수 있었다 (Fig 1 (e), (g), (h)).

4. 결론

본 논문에서는 다단계 백색광 조사법을 이용하여 결함없이 은잉크패턴의 소결을 소결하였으며 열소결한 은잉크패턴보다도 더 좋은 단면 및 표면 상태뿐만 아니라, 전도성을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. Ryu, J., Kim, H. S., and Hahn, H. T., "Reactive sintering of copper nanoparticle using intense pulsed light for printed electronics", *J.Elec.Mater.***40** 42-50, 2011
2. Lee, D. J., Park, S. H., Jang, S., Kim, H. S., Oh, J. H. and Song, Y. W., "Pulsed light sintering characteristics of inkjet-printed nanosilver films on a polymer substrate", *J.Micromech.Microeng.* **21** 125023, 2011
3. Kim, D., Jeong, S., Lee, S., Park, B. K., and Moon, J., "Organic thin film transistor using silver electrodes by the ink-jet printing technology *Thin Solid Films.***515**, 7692-7696, 2007