

패턴의 초기저항이 전기소결에 미치는 영향

Effects of patterns' initial resistances on electrical sintering characteristics

*장신¹, 이동준¹, 오제훈¹

*S. Jang¹, D. J. Lee¹, #J.H. Oh(jehoon@hanyang.ac.kr)¹

¹한양대학교 기계설계·메카트로닉스공학과

Key words : Printed electronics, Electrical sintering, Ag nanoparticle ink, paper substrate

1. 서론

최근 유연 디스플레이(Flexible display) 산업이 급격하게 성장함에 따라 제조 공정을 줄이고 생산 비용을 낮출 수 있는 공정에 대한 연구가 활발하게 진행 되고 있다. 특히 잉크젯 인쇄 기술(Inkjet printing technology)은 제조 공정이 단순하고, 재료 사용 효율이 높으며 대면적의 대량생산이 가능하다는 장점 때문에 기존의 리소그래피(Lithography) 공정을 대체할 수 있는 기술로서 주목 받고 있다. [1]

전도성 패턴을 인쇄하기 위해서는 나노 입자 콜로이드 잉크(Nano-particulate colloid ink)를 사용하게 된다. 인쇄 직후에는 나노 입자가 잉크 내 유기 물질, 용매에 의해 캡슐화 되어 있어 전기적인 전도성이 거의 없는 절연체 상태이다. 따라서 잉크 내 잔류물질을 제거하고 나노 입자들 사이에 연결성을 부여하고 입자를 성장시켜 전기적 전도성을 갖게 하는 소결이 반드시 필요하다. 은(Bulk silver)의 녹는점은 약 1000 °C 이지만 콜로이드 잉크는 높은 단위체적당 표면적비로 인해 약 150 ~ 250 °C 로 훨씬 낮은 온도에서 소결이 가능하게 된다. 하지만 기존의 열 소결 공정 방법은 기관 전체를 가열해야하는데 이 것은 기관의 변형을 야기할 수 있고, 여러 가지 산화물을 발생시킬 수 있으며, 최소 30분 이상의 긴 소결 시간이 필요하다.

이러한 단점을 극복하기 위해 원하는 패턴만을 짧은 시간 내에 소결할 수 있는 광 소결(Light sintering) [2], 극초단파 소결(Microwave sintering) [3], 레이저 소결(Laser sintering) [4] 등 다양한 소결 방법들이 활발하게 연구되어 지고 있다. 특히 2008년, Mark L. Allen 연구팀에 의해 제시된 전기 소결법은 원하는 패턴만을 선택적으로 소결할 수 있고, 또한 소결을 수 십초 이내로 완료 할 수 있는 공정이다.[5]

본 연구에서는 열에 매우 민감한 포토용지 위에 은 나노 입자 패턴(Pattern)을 제작하고, 제작된 패턴의 전기 소결을 실시하였다. 또한 패턴의 초기

저항이 전기 소결에 미치는 영향이 체계적으로 분석되었고, 전기 소결 과정 중에서 생기는 패턴의 손상 현상을 줄일 수 있는 방법이 연구되어졌다.

2. 실험 과정

패턴 제작을 위해 (주)Harima 사의 60 wt%의 은 나노 입자를 함유하고 나노 입자의 크기가 약 12 nm인 잉크가 사용되었다. (주)한솔 사의 포토 용지 위에 은 나노 잉크가 (주)Unijet 사의 UJ100 잉크젯 시스템을 사용하여 인쇄 되었다. 인쇄된 모든 패턴은 길이 5 mm, 너비 100 um, 두께 1 um의 형상을 가졌다. 제작된 패턴은 핫플레이트를 사용하여 5 ~ 10 분 동안 100°C에서 가열 되었다.

가열된 패턴은 Agilent 사의 N6705B DC전원 공급기와 프로브스테이션을 이용하여 소결 되었고, 패턴에 걸리는 부하를 분산시키기 위해 직렬로 연결된 약 300Ω의 저항기가 사용되었다. 인가된 전압의 측정을 위해 오실로스코프를 이용하였다.

디지털 멀티미터와 3차원 단면 측정기를 이용하여 패턴의 비저항이 계산되었다. 최종적으로 SEM 측정을 통해 나노 입자의 성장을 관찰하였다.

패턴에 인가되는 파위는 (1)과 같은 식으로 구해 질 수 있다.

$$P_{tr}(t) = R_{tr}(t) \cdot \frac{V_{in}^2}{(R_{tr}(t) + R_s)^2} \quad (1)$$

3. 결과

인쇄된 직후의 패턴의 저항은 약 50 MΩ 이상을 나타내었다. 패턴의 초기저항이 전기 소결에 미치는 영향을 알아보기 위하여 인쇄된 패턴은 핫플레이트에서 가열 되었고, 약 50 kΩ ~ 5 MΩ 사이의 저항을 가지는 패턴이 선택 되었다. Fig. 1은 패턴이 20 V ~ 100 V 의 전압에서 소결되었고 그 결과를

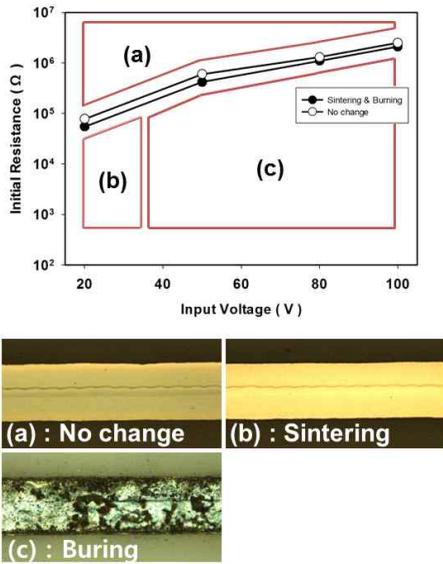


Fig. 1. Sintering result with an initial resistance and input voltage.

보여주고 있다. 인가전압이 증가함에 따라 소결 가능한 패턴의 초기 저항이 증가하는 것을 볼 수 있다. 모든 패턴에 대해서 소결을 시작하기 위해서는 최소 4 mW 파워가 필요하였다. 하지만 50 kΩ 이상의 패턴을 소결할 때 인가전압이 약 35 V 이상이 되면서 **burning**과 같은 패턴의 손상현상이 나타나기 시작하였다. 이와 같은 현상이 발생하는 이유는 식 (1)과 같이 패턴에 가해지는 파워가 전압의 제곱에 비례해서 증가하고, 저항이 높을수록 패턴 내 입자의 결합력이 약하기 때문이다. 반대로 약 35 V 이하의 인가전압에서 소결을 하였을 경우, 패턴이 손상되는 현상은 거의 없으나 소결 후 저항이 약 30 Ω 이상이였다.

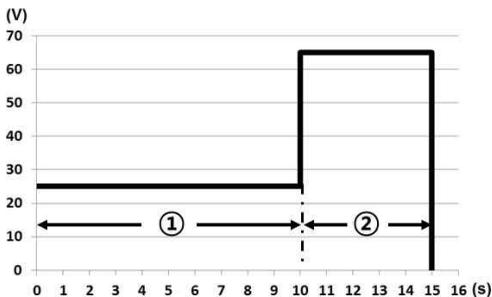


Fig. 2 Input voltage profile

따라서 패턴을 핫플레이트를 이용하여 약 150 kΩ까지 저항을 낮추고 Fig. 2와 같이 25V의 낮은 전압을 10초 동안 인가하여 패턴 내 나노 입자의 결합력을 높인 후 65 V에서 소결하기 위해 계단 함수 형태의 인가전압이 사용되었다. 소결 후의 패턴 저항은 약 5Ω을 나타내었고, 비저항은 약 3 uΩ·cm 였다.

4. 결론

본 연구에서는 나노 입자 패턴을 전기 소결하였고, 열 소결보다 짧은 시간에 소결이 완료되었다. 초기저항이 증가할수록 소결이 가능한 전압이 증가하였지만, 모든 패턴에 대해 필요한 최소 파워는 약 4 mW 였다. 계단함수 형태의 인가전압을 사용하여 패턴을 손상을 막으면서 벌크 재료에 비해 약 2배 정도의 낮은 비저항을 얻을 수 있었다.

참고문헌

1. Thijs H. J. van Osch, Jolke Perelaer, Antonius W. M. de Laat and Ulrich S. Schubert, "Inkjet Printing of Narrow Conductive Tracks on Untreated Polymeric Substrates," *Advanced Materials*, **20**, 343-345, 2008.
2. D.J. Lee, S.H. Park, S. Jang, H.S. Kim, J.H. Oh and Y.W. Song, "Pulsed light sintering characteristics of inkjet-printed nanosilver films on a polymer substrate," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, **21**, 125023, 2011.
3. Jolke Perelaer, Berend-Jan de Gans and Ulrich S. Schubert, "Inkjet Printing and Microwave Sintering of Conductive Silver Tracks," *Advanced Materials*, **18**, 2101-2104, 2006.
4. S.H. Ko, H. Pan, C.P. Grigoropoulos, C.K. Luscombe, J.M.J. Frechet and D. Poulidakos, "All-inkjet-printed flexible electronics fabrication on a polymer substrate by low-temperature high-resolution selective laser sintering of metal nanoparticles," *Nanotechnology*, **18**, 345202, 2007.
5. M.L. Allen, M. Aronniemi, T. Mattila, A. Alastalo, K. Ojanpera, M. Suhonen and Heikki Seppa, "Electrical sintering of nanoparticle structures," *Nanotechnology*, **19**, 175201, 2005.