

전자소자 인쇄를 위한 전도성 구리 잉크의 소결 온도에 따른 선 패턴의 전기저항 변화

Effect of Sintering Temperature on Electric Resistance Change of Printed Line Patterns with Copper Ink

*박성식¹, 민윤기², 신기현^{3,4}, 고성림^{3,4}, #이동진^{3,4}

*S. Park¹, Y. Min², K. H. Shin^{3,4}, S. L. Ko^{3,4}, #D. Lee(djlee@konkuk.ac.kr)^{3,4}

¹ 건국대학교 기계설계학과, ² 강원대학교 기계자동차공학부 ³ 건국대학교 기계공학부,

⁴ 건국대학교 유연디스플레이연속공정연구소

Key words: printed electronics, copper ink, sintering, electrical resistance

1. 서론

최근 기존의 증착, 식각 등의 반도체 공정을 이용하지 않고 인쇄공정을 이용하여 RFID, TFT, PCB 등 다양한 전자소자를 제작할 수 있는 기술이 활발하게 연구 개발되고 있다. 인쇄 공정 중에서도 롤투롤(roll-to-roll) 방식을 이용한 인쇄와 같은 연속 생산 공정은 대량 생산에 용이하기 때문에 각광을 받고 있다. 현재는 전도성과 인쇄성이 좋은 은 나노 입자를 이용한 잉크를 많이 사용하고 있으나 재료의 희귀성 등의 이유로 대체 재료로 전도성 고분자, 탄소나노 튜브(carbon nanotube), 구리 등을 사용하는 전도성 잉크 제조에 대한 연구가 활발히 진행 중이다.¹⁻³ 그 중 구리 나노 입자를 이용한 잉크는 생산 단가를 크게 낮출 수 있지만 충분한 전도성 확보를 위한 소결(sintering) 공정이 필요하다. 본 논문에서는 열을 이용한 소결을 통해 충분한 전도성을 확보하여 구리 나노 잉크를 롤투롤 연속 인쇄 공정에 적합하게 사용할 수 있는지를 확인하였다.

2. 패턴 인쇄 및 소결

충분한 소결 온도를 확보하기 위해 유리 기판 위에 구리 나노 잉크(입자 크기: ~100 nm)를 닥터블레이딩(doctor blading) 기법을 이용하여 선 패턴을 형성하였다. 인쇄된 선 패턴을 건조하기 위해

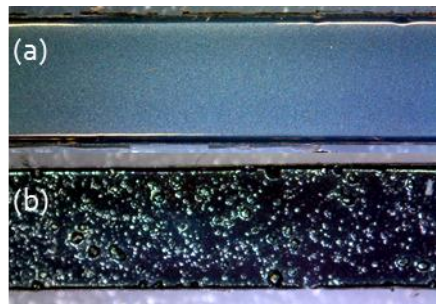


Fig. 1 Printed pattern strip of silver nano-ink (a) and copper nano-ink (b)

열풍 건조기(50℃)에서 30 분간 건조 하였으며 건조 자체만으로는 전도성을 확보할 수 없었다. 따라서 건조를 한 후에 추가적으로 더 높은 온도에서 30 분간 소결을 진행하였다. 소결이 완료된 패턴의 저항을 측정하기 위하여 폭이 1 mm 인 패턴을 길이 15 mm 에 맞춰 양 끝단에 전도성 구리 테이프를 붙였으며 접촉 저항(contact resistance)을 최소화 하기 위해 구리 테이프와 패턴 사이에 은 페이스트(silver paste)를 얇게 도포하여 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

건조 후 소결을 하지 않은 인쇄 패턴의 표면을 Fig. 1 과 같이 얻을 수 있었다. 기존에 사용하는 은 나노 잉크를 이용한 패턴(a)의 경우 표면이 매끄럽게 형성되는 반면, 구리 나노 잉크의 경우 표면에 많은 결함에

발생하였다. 전자 소자를 제작하기 위해서는 중첩 인쇄가 반드시 필요하지만, 균일하지 못한 인쇄 패턴에는 중첩 인쇄가 불가능하다. 또한 각 소결 온도에 따른 구리 나노 잉크를 사용한 인쇄 패턴의 저항은 Fig. 2 와 같은 경향을 나타낸다. 100-130℃에서는 저항 측정이 불가하였고 150℃의 소결 온도에서부터 저항이 낮아지기 시작하지만 200℃에서 다시 증가하는 경향이 나타나며 250℃ 이상부터 급격하게 저항이 감소한다. 300℃ 이상의 온도에서는 은 나노 잉크를 대체할만한 수준인 4 Ω까지 저항이 감소하였다. 하지만 인쇄 공정에서 사용하는 플라스틱 기판(plastic substrate)은 300℃의 고온에서 물성의 변화 등이 발생하므로 소결을 진행하기 어려움이 있다. 또한 패턴의 두께에 따라 저항이 변하는 것을 고려하여 패턴의 두께 및 형상(폭 1 mm, 길이 15 mm)을 고려한 비저항을 확인하였으며 그 값은 Table 1 과 같다. 두께의 편차가 있지만 전체적으로 비저항이 감소하는 것으로 보아 소결이 진행되었음을 알 수 있다.

4. 결론

현재 개발되어 있는 구리 나노 잉크는 패턴 형성 시 매우 큰 표면조도로 인해 중첩 인쇄가 어려우며, 전도성을 확보하기 위해 추가적으로 필요한 소결 공정에서 300℃ 이상의 고온을 요구하므로 플라스틱 기판에 인쇄하는 톨투톨 공정에는 아직까지 적용하기 어렵다. 따라서 구리 나노 잉크를 톨투톨 인쇄

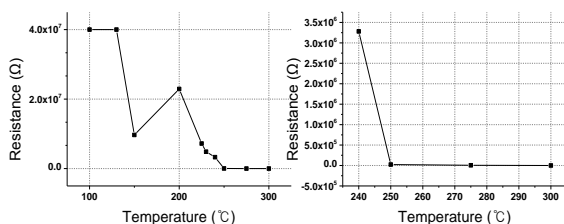


Fig. 2 Electrical resistance of printed line patterns after sintering at each temperature

Table 1 Pattern resistivity result from sintering temperature

Sintering temperature(℃)	Pattern thickness(μm)	Pattern resistivity(Ωm)
100	19.21	51.2
130	31.35	83.6
150	21.61	13.9
200	23.6	36.0
225	21.75	10.4
230	19.51	6.32
240	20.66	4.52
250	17.39	0.0276
275	23.12	0.0076
300	26.82	0.00000715

공정에 사용하기 위해서는 소결 온도를 플라스틱 기판 변형이 일어나지 않는 온도까지 낮추거나, 열을 이용하지 않고 전도성을 확보할 수 있는 새로운 소결 방법에 대한 연구가 필요하다.

후기

이 논문은 미래산업선도기술개발사업 신시장창출형과제(10042421), 2012년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 해외우수연구기관유치사업(2010-00525)의 지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

1. K. Kordas *et al.*, "Inkjet printing of electrically conductive patterns of carbon nanotubes", Small 2, 1021-1025, 2006.
2. T. Mustonen *et al.*, "Inkjet printing of transparent and conductive patterns of single-walled carbon nanotubes and PEDOT-PSS composites", physica status solidi (b) 244, 4336-4340, 2007.
3. B. K. Park *et al.*, "Direct writing of copper conductive patterns by ink-jet printing", Thin Solid Films 515, 7706-7711, 2007.