

잉크젯 인쇄 금속 박막의 기계적 신뢰성에 관한 연구

Mechanical property of inkjet printed Ag films

*김인영¹, 장윤석¹, 강정식¹

*I. Kim¹, Y.-S. Jang¹, J.-S. Kang¹

¹ 한국기계연구원 인쇄전자연구센터

Key words : inkjet printing, Ag thin films, mechanical property

1. 서론

최근의 소비자들은 향상된 성능의 새로운 제품을 지속적으로 요구하고 있으며, 때문에 전자 기기의 신제품 출시 주기도 매우 짧아지고 있다. 이러한 경향은 기관 및 부품의 다양한 설계 변화를 견인하면서 부품 업체의 대량 생산을 소량 다품종의 형태로 재편하고 있다. 잉크젯 인쇄 기술은, 포토 리소 공정에서 필요로 하는 마스크 및 반복적인 노광과 식각 작업 없이, 소프트웨어 상의 설계를 바로 구현할 수 있다는 기본 개념 때문에 최근의 산업 발전과 맞물려 지난 10년간 PDP, LCD, TFT, 바이오센서 등 다양한 응용 분야에서 집중적으로 연구가 진행되어 왔다 [1-4]. 또한 잉크젯 인쇄 기술은 소프트웨어 상의 그림을 필요한 부분만 잉크를 이용하여 인쇄함으로써 여분의 재료 소비 없이, 미세 패턴 구현이 가능하며, 에너지 절약, 저비용, 다층화, 박형화 등 많은 장점을 가지고 있다. 잉크젯 인쇄를 이용한 부품의 제조는 잉크 제조를 위한 입자 합성 및 잉크 배합 기술뿐만 아니라 원하는 양의 잉크를 도출하는 헤드 기술, 원하는 위치에 미세 액적을 탄착시키는 시스템 기술, 미세 배선 구현을 위한 인쇄 기술, 표면 처리 기술, 소결 기술 등을 모두 필요로 하는 기술 종합적 성격을 띤다. 잉크젯 인쇄 기술이 적용 가능한 재료 분야 또한 다양하게 전개되어 최근에는 금속, 세라믹, 폴리머, 바이오 및 하이브리드 잉크 등이 속속 개발되고 있다.

본 논문에서는 잉크젯 인쇄 기술을 이용한 금속 배선을 구현하기 위해, 잉크젯 인쇄 Ag 배선의 전기적, 기계적 특성에 대한 연구를 진행하였으며 이를 미세 구조적으로

분석하였다.

2. 실험방법

일반적인 수열 합성법을 이용하여 Ag 나노 입자를 합성하였다[5]. 합성된 나노 입자는 Poly vinyl pyrrolidone (PVP, MW 10,000, Aldrich)이 감싸고 있는 상태로 에탄올에 분산시켜 잉크를 제조하였다. 인쇄는 700 dpi로 세 번 반복 인쇄하였으며 공기 중 열처리를 통해 나노 Ag 입자의 소결을 진행하였다. 소결 온도와 시간을 각각 150 ~ 300°C, 5 ~ 180 분까지 변화하면서 Ag 배선을 제조하였다. 제조된 시편을 SEM을 이용하여 미세구조를 관찰하였고, 결정구조를 분석하기 위하여 X 선 회절분석을 진행하였다. 전기적 특성을 분석하기 위하여 4-point probe 및 multi meter를 이용하여 상온에서의 저항을 측정하였다. 또한, 기관과의 접착력 및 Ag 배선의 기계적 강도를 평가하기 위해 나노 인덴터(Hysitron TriboIndenter)를 사용하였다.

3. 결과 및 논의

약 20 nm 크기의 나노 입자를 200°C에서 소결 시 Ag 배선의 비저항은 초기 57.4 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 에서 7.3 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 로 소결 시간이 감소함에 따라 급격히 감소하는 것을 관찰 할 수 있었다. 7.3 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 의 비저항은 배선으로서 충분히 사용 가능한 결과로서 200°C의 낮은 열처리 온도에서도 Ag 분말의 소결이 진행되었음을 나타낸다. 이는 분말의 크기가 나노 크기로 작아 전체 표면적 증가가 Ag 확산의 활성화 온도를 낮추고 있기 때문으로 판단된다. 소결 시 잉크젯 인쇄 Ag 배선의 소결 거동을

분석하기 위해 시편의 미세구조를 주사 전자현미경을 이용하여 분석하였다. 200°C에서 소결 시 초기에는 잉크의 용제가 증발하여 Ag 분말들이 균일하게 분포하게 된다. 소결 시간이 증가함에 따라 분말간의 응집을 관찰할 수 있으며 이렇게 응집된 분말들이 약 50 ~ 100 nm 의 섬조직을 형성한다. 형성된 섬조직 내부는 치밀화 및 결정립 성장이 진행되는 것을 관찰 할 수 있지만, 섬조직 간에는 기공이 형성되고 섬조직 내부의 치밀화가 진행됨에 따라 기공 또한 성장하는 것을 그림 2 (e-f)를 통해 알 수 있다. 소결의 단계를 정리하면 다음과 같다. (i) 용제 증발에 의한 Ag 분말의 균일 분포, (ii) 분말간의 응집, (iii) 응집된 분말들의 섬조직 형성, (iv) 섬조직 내부의 치밀화 및 섬조직 외부 기공 형성, (v) 결정립 성장 및 섬조직 간의 기공 성장.

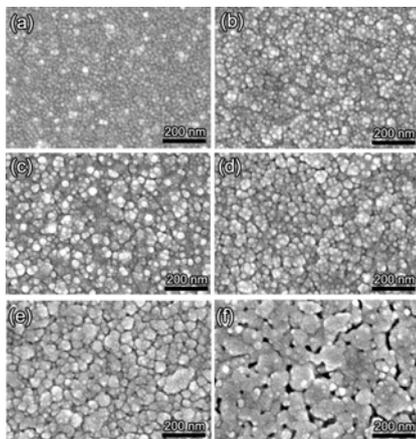


그림 1. 200°C에서 (a) 3분, (b) 5분, (c) 10분, (d) 30분, (e) 60분, (f) 180분 소결한 시편의 미세 구조.

기공의 크기가 소결 시간에 따라 성장할 경우 Ag 배선의 기계적 특성은 열화 될 수밖에 없으며 이러한 미세구조의 발달은 나노 크기의 분말을 소결할 경우 발견되는 일반적인 현상으로 보고되고 있다 [6]. 200°C에서 소결한 Ag 배선의 기계적 특성을 평가하기 위해 나노 인텐터를 이용하여 경도와 탄성 계수를 측정하였다. 경도와 탄성계수 모두 소결 시간이 증가함에 따라 초기 30 분까지는 증가하였고, 그 후 일정치를 유지하는 경향을

보였다. 소결 초기 30 분까지는 분말과 분말 사이의 연결이 발생하고 연결 부위의 영역이 넓어지는 단계로서 경도 및 탄성계수가 증가하였다. 그러나 조직의 치밀화가 진행되는 단계에서 섬조직의 발달로 결정립 성장이 소폭으로 제한되고 공공이 성장함에 따라, 경도와 탄성계수는 큰 변화 없이 일정한 값으로 제한된다. 이러한 값을 벌크의 Ag 와 비교할 경우 경도는 매우 높으며 탄성계수는 낮아 잉크젯 인쇄 Ag 배선이 충격에 취약한 특성을 갖고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 나노 크기의 Ag 분말을 잉크젯 인쇄 기법을 활용하여 인쇄하여 저온 소결을 통해 배선을 형성하였다. 형성된 배선의 비저항은 7.3 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 이었으며 경도와 탄성계수는 각각 1.4 GPa, 71 GPa 로 벌크 Ag 와 비교할 경우 경도는 높고 탄성 계수는 낮았다. 즉, 전기적 측면에서는 충분히 사용가능하지만 충격에 약한 기계적 특성을 갖고 있음을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 기관 주요사업(NK162D)과 산업기술연구회 협동연구사업(B551179-08-03-00)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. V. Subramanian, et al., Proc. IEEE, Vol. 93, p. 1330, 2005.
2. H. M. Nur, J. H, Song, J. Mater. Sci: Mater. Electron. Vol. 13, p.213, 2002.
3. P. Cooley, D. Wallace, B. Antohe, JALA, Vol. 7, p. 33, 2002.
4. M. Furusawa, et al., Technical Digest of The Society of Information Display '02, P. 753, 2002.
5. B. Wiley, Y. Sun, B. Mayers and Y. Xia, Chem. Eur, J., Vol. 11, p. 454, 2005.
6. R. M. German, "Sintering Theory and Practice" John Wiley & Sons inc., 1996, p. 155.