

IPL 소결을 이용하여 제작된 구리 박막의 피로수명 연구 Fatigue life study of intense pulsed light sintered copper film on PET substrate

*오세인¹, #좌성훈¹, 은경태¹, 송용원², 유태희²

*Se-in Oh¹, #Sung-hoon Choa¹, Kyoungtae Eun¹, Yong-Won Song², Tae-Hee Yoo²

¹서울과학기술대학교 NID융합기술대학원, ²한국과학기술연구원

Key words : Intense pulsed light(IPL), Flexible device, Copper ink, Sintering

1. 서론

기존의 반도체 공정은 포토리소그래피 기술을 기반으로 많은 발전을 거두어 왔다. 하지만 포토리소그래피 기술은 수많은 공정 절차로 인한 긴 공정 시간 및 비용문제와 식각 공정에서 발생하는 폐기물로 인한 환경문제가 대두되고 있다. 최근 이러한 문제점을 해결하기 위해 나노잉크를 기반으로 한 잉크젯 프린팅 기술[1]이 활발히 연구되고 있다.

잉크젯 프린팅기술은 형성하고자 하는 회로 이미지를 그대로 출력할 수 있기 때문에 재료비 및 공정 시간을 절약할 수 있다. 주로 전도성이 좋은 금, 은, 구리 등을 원료로 사용하며, 이 중에서 구리 나노잉크가 저가격화를 이룰 수 있는 솔루션으로서 이목이 집중되고 있다. 제작된 나노잉크는 전기 전도성 향상을 위해 소결이 필수적이다. 소결은 일반적으로 thermal 방식을 사용하며, 구리를 소결하기 위해서 최소 250°C 이상의 온도와 20분 이상의 시간을 필요로 한다[2]. 이러한 과정에서 구리는 쉽게 산화되고 열로 인해 유연기판은 손상을 입게 된다. 최근 이러한 문제점을 개선한 intense pulsed light(IPL)을 이용하여 소결하는 방법이 연구되고 있다[3].

IPL 소결은 ms 단위의 빠른 소결 시간으로 산화를 최소화할 수 있고 유연기판의 손상 없이 소결이 가능하기 때문에 구리 나노잉크를 이용한 잉크젯 프린팅 기술에 적합하다. 제작된 구리 박막을 flexible device에 적용하기 위해서는 기계적 유연성 시험 및 피로수명 시험이 필수적이다. 현재 소결 조건에 따른 전기적 특성 평가에 관련된 연구는 활발히 진행 중이지만, 체계화된 기계적 특성 평가에 관한 연구는 부족한 실정이다. 본 연구에서는, bending fatigue test 실험 장비를 제작하였고, 이를 이용하여 구리 박막의 피로수명을 확인하였다.

2. 시험 준비

본 연구에서 제작된 구리 박막은 200 nm의 두께로 제작되었으며 210 μm 두께의 PI 기판에 10 mm x 10 mm 크기로 프린팅 되었다. 프린팅 된 구리 박막의 성능을 비교하기 위해 e-beam evaporator를 이용한 구리 박막을 별도로 제작하였다. Fig. 1(a)는 프린팅 및 IPL 소결을 이용하여 제작된 구리 박막 샘플, fig. 1(b)는 e-beam evaporator를 이용하여 제작된 구리 박막의 샘플 모습이다.

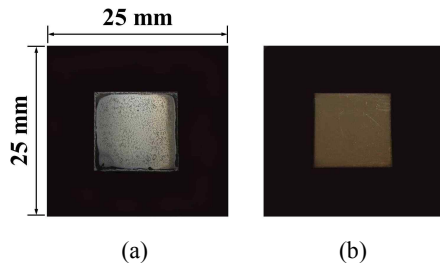


Fig. 1 Copper thin films made by (a) ink-jet printing & IPL sintering, (b) e-beam evaporator

Fig. 2(a)는 outer bending 시험의 개념도를 보여주고 있다. 이를 바탕으로 Fig. 2(b)의 bending machine을 제작하였다. Bending machine은 시편을 길이방향으로 기판에 곡선 형태의 변형을 가하게 된다.

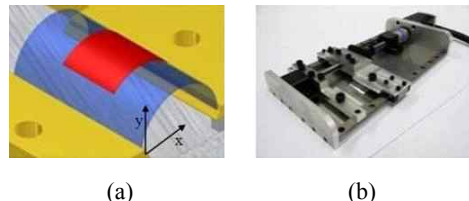


Fig. 2 (a) schematic of outer bending, (b) bending machine

변형된 기관의 bending radius는 식 (1)을 이용하여 계산하였다.

$$Bendingradius = \frac{L}{2\pi \sqrt{\frac{dL}{L} - \frac{\pi^2 h_s^2}{12L^2}}} \quad (1)$$

3. 시험 결과 및 고찰

Fig. 3은 outer bending에 따른 구리 박막의 저항 변화를 4-probe station을 이용하여 측정된 결과이다.

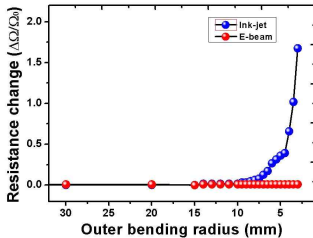


Fig. 3 Resistance change by outer bending

잉크젯 프린팅 및 IPL 소결을 이용한 샘플의 경우 bending radius 7 mm 이후 저항이 급격히 증가하는 경향을 보였다. 이 자료를 바탕으로 피로수명 시험은 구리 박막이 flat한 상태에서 저항이 안정적인 bending radius 10 mm까지 5 mm/sec의 이송속도로 10,000 cycle을 수행하였다.

Table 1은 구리 박막의 초기 저항과 실험 후의 저항을 보여준다. Fig. 4는 outer bending fatigue test에 따른 저항 변화를 보여주고 있다. IPL 소결을 이용한 구리 박막은 저항이 최대 1.60Ω 증가하였고, e-beam을 이용한 구리 박막은 최대 1.05Ω 증가하였다. 잉크젯을 이용한 구리 박막은 bending cycle 500회 까지 저항 변화가 큰 폭으로 증가하는 현상을 볼 수 있다. 이러한 이유는 outer bending으로 인한 응력으로 인해 구리 입자간의 conduction path에 변형이 생긴 것으로 판단된다. Bending cycle 500회 이후로는 conduction path가 안정화 되어 적은 폭으로 저항이 증가하는 것을 볼 수 있다.

Table 1 Resistance of initial & before bending

Manufacturing	Resistance	
	Initial	After 10,000 cycle
Ink-jet	12.50 Ω	14.10 Ω
E-beam	0.95 Ω	2.00 Ω

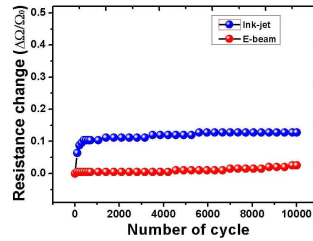


Fig. 4 Resistance change by bending cycle

4. 결론

본 연구에서는 잉크젯 프린팅 및 IPL 소결을 이용한 구리 박막의 피로수명을 outer bending fatigue test를 이용하여 평가하였다. 10,000 cycle 이후 저항은 1.60Ω 증가하였고, 대부분의 저항 변화는 500 cycle 이전에 발생하는 것을 확인하였다. 이 자료를 토대로 소결의 최적화와 neutral plane 등과 같이 기계적 유연성을 향상시킬 수 있는 방법을 적용하여 구리 박막에 가해지는 stress를 최소화한다면 구리 박막의 기계적 유연성 및 피로수명이 크게 향상될 것으로 기대된다.

5. 후기

본 연구는 산업기술연구회 협동연구사업의 일환인 “나노 잉크를 이용한 박막형 슈퍼캐패시터 연속 생산 공정 및 시스템 개발” 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. S. J. Park, et al., "Fabrication of the Printes Circuit Board by Direct Photosensitive Etch Resist Patterning", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 24, No. 5, 2007.
2. Y. H. Kim, et al., "Use of copper ink for fabricating conductive electrodes and RFID antenna tags by screen printing", Current Applied Physics, 2011.
3. W. S. Han, et al., "Multi-pulsed white light sintering of printed Cu nanoinks", IOP science nanotechnology Vol. 22, No.39,2011.