

레이저 패터닝을 이용한 폴리머상의 전도성 패턴 형성 메커니즘 연구

Study on the mechanism of conductive pattern formation on polymer by laser patterning

*백병만¹, #이재훈¹, 신통식¹, 이건상²

*B. Y. Paik¹, #J. H. Lee(jaholee@kimm.re.kr)¹, D.S.Shin¹, K. S. Lee²

¹한국기계연구원 광응용기계연구실, ²국민대학교 기계시스템공학부

Key words : Laser Direct Structuring, Conductive pattern, Laser, electroless copper plating

1. 서론

전통적인 인쇄회로 기판(PCB: printed circuit board) 제조 공정은 2차원 중심의 증착(deposition)과 식각(etching)을 이용한 리소그래피 방법을 이용하여 전도성 패턴을 형성한다. 그러나 이러한 방법은 고밀도 고집적화를 요구하는 오늘날 PCB 산업에서 적용하기에는 기술적인 한계를 가지고 있다. 이러한 기존 PCB 제조 방법을 대체하기 위해 다양한 기술이 개발되고 있다.

그 중 레이저를 이용한 직접표화법(Direct Writing)은 기존의 증착과 식각 공정을 생략하고 전도성 패턴(conductive pattern)을 형성할 수 있는 제조공법 중 하나이다.¹

Laser Direct Structuring (LDS)는 레이저 직접표화법의 일종으로, 열가소성수지를 이용하여 사출 성형한 사출 물위에 레이저를 이용하여 선택적으로 패턴(pattern)을 가공한 후 무전해도금을 이용하여 전도성 회로를 형성하는 방법이다. 현재 정보통신, 자동차, 의료, 마이크로 패키징, 보안 산업 등 다양한 분야에서 적용하고 있다.

그러나 현재까지 알려진 LDS 메커니즘은 폴리머 속에 포함되어 있는 유기금속화합물이 레이저 가공에 의해 무전해 도금 시드로 전환된다고 알려져 있다.^{2,4} 이러한 메커니즘(mechanism)은 폴리머에 포함되어 있는 첨가제의 종류 및 조사되는 레이저 에너지에 따른 도금 시드 형성 원리 등은 정확히 표현하고 있지 않다.

따라서 본 논문에서는 LDS의 활성화를 위해 레이저를 이용한 폴리머상의 전도성 패턴 형성 메커니즘을 규명하고자 한다.

2. 실험 재료 및 장치

본 연구에 사용된 레이저 가공시스템은 Fig. 1과 같다. 레이저는 1064nm의 파장을 가지는 20W pulsed Fiber 레이저(IPG, YLPM-20)를 사용하였다. 또한, 고속으로 다양하고 복잡한 패턴을 생성하기 위해 PC제어기반의 스캐너 미러(scanner mirror, SCANLab.)를 이용하였다. 메커니즘 분석을 위해 사용된 폴리머 소재는 PBT/PET 합성물로 레이저와 반응하는 첨가물이 첨가되어 있는 LDS용 폴리머를 사용하였다. 레이저 패터닝과 전도성 패턴 형성을 위해 판재 형상으로 사출 성형하여 사용하였다. 또한, 전도성 패턴은 Table 1과 같은 조성을 가지는 무전해 동도금(electroless copper plating)액을 사용하였으며 도금온도와 시간은 70 °C, 20분으로 고정하여 도금을 진행하였다. 분석 방법으로는 주사전자현미경과 에너지 분산형 X선 분광기를 이용하여 레이저 패터닝 전·후의 폴리머 표면 원소와 분포를 관찰하였으며, X선 광전자 스펙트럼을 통해 폴리머의 결합 에너지(binding energy)를 측정하여 화학 결합 상태를 확인하였다.

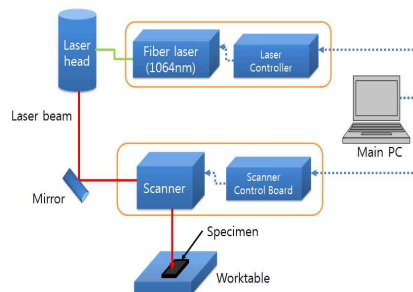


Fig.1 Laser set-up system

Table 1 Composition of electroless copper formulations

Reagents	Contents
CuSO4	15 g/L
EDTA	35 g/L
HCHO	10 g/L
NaOH	pH 12.6
2.2dipyridyl	10 mg/L

3. 실험결과

레이저 공정변수 변화에 따른 전도성 패턴 형성 유무를 확인하여 도금 시드가 형성되는 레이저 fluence(J/cm^2)와 irradiance(W/cm^2)의 임계값을 확인하였다. 실험 결과 $0.509 J/cm^2$, $2.54 \times 10^6 W/cm^2$ 로, 임계값 이상에서는 도금 시드가 형성되어 전도성 패턴이 형성되었다. Fluence 변화에 따른 크롬, 철, 구리의 함량 및 분포를 EDX mapping을 통하여 확인하였다. 분석결과 레이저 조사 전의 시편에서의 크롬, 철, 구리의 분포는 금속산화물 형태로 집중되어 있었다. 그러나 레이저 fluence가 임계값 이상으로 증가함에 따라 크롬, 철, 구리가 넓게 분포되는 것을 볼 수 있다. 이것은 도금 시드 형성 물질로 예상되는 금속산화물이 폴리머상에 존재하다가 레이저의 에너지에 의해 금속과 산소로 완전히 분리되어 도금 시드 역할을 하는 금속원소가 넓게 비산되는 것으로 판단된다.

그러나 EDX에서는 폴리머에 속에 있는 금속성분의 종류는 알 수 첨가제로 포함된 금속산화물과 레이저에 의해 변형된 금속원소를 정량적으로 분석하기 어렵다. 따라서, 금속과 금속산화물을 정량적으로 정확히 구분할 수 없다. 따라서, 금속산화물과 확실한 금속임을 증명할 수 있는 XPS분석을 Fig. 2와 같이 수행하였다.

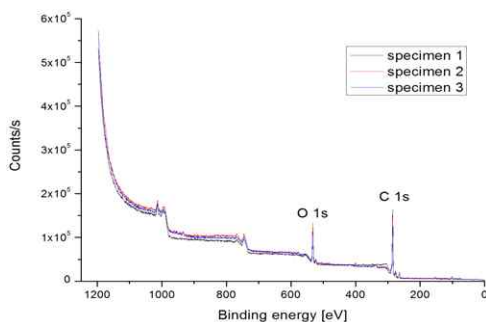


Fig.2 Analysis results of XPS

분석결과 임계값 이상의 레이저 fluence가 주입된 시편에서는 953.8eV (CuO 2P1/2)와 933.0eV (Cu 2P3/2) peak이 검출되었다.

이러한 결과는 폴리머 속에 포함된 크롬, 철, 구리 계 금속산화물들은 레이저 에너지와 반응하여 산화물 형태에서 금속으로 변경됨을 알 수 있다. 이 중 구리원소는 금속산화물의 형태인 CuO에서 Cu로 변경되어 도금 시드 역할을 하는 원소는 입을 알 수 있었다.

4. 결론

본 논문은 LDS공법에 대한 도금 seed형성에 관한 메커니즘을 연구하였다. 실험 결과, 레이저 반응에 의해 도금 seed형성에 관여되는 물질은 폴리머 내에 금속산화물의 형태로 존재한다. 이러한 금속산화물은 레이저와 반응하여 금속원소로 전환되었다. 현재까지 알려져 있는 금속산화물은 크롬, 구리, 철이 혼합되어 있으며, 이 중 무전해도금시 촉매활성도가 가장 좋은 구리가 도금 시드로 형성됨을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 지식경제부의 산업핵심기술 개발 사업인“레이저를 이용한 고정밀 전극형성 패턴링 장비개발”과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Hon, K.K.B., Li, L. and Hutchings, I.M., “direct writing technology—Advances and developments,” CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 57, pp. 601 - 620, 2008.
- Thomas Leneke, Soeren Hirsch, and Bertram Schmidt, “a multilayer process for fine-pitch assemblies on molded interconnect devices (MIDs),” Circuit World, Vol. 35, Number 2, pp. 23 - 29, 2009.
- Huske, M., Kickelhain, J., Muller, J., and Eber, G., “laser supported activation and additive metallization of thermoplastic for 3D-MIDs,” Proceeding of the 3rdLANE,2001.
- Gerhard Naundorf, Horst Wissbrock, “a fundamentally new mechanism for additive metallization of polymeric substrates in ultra-fine line technology illustrated for 3D-MIDs,” Galvanotechnik D-88348, Vol. 91, pp. 2449 - 2451, 2000.