

레이저 응용 printed electronics용 direct/indirect 인쇄를 패터닝 기술 Direct/indirect laser patterning of printing roll for printed electronics

*손현기, 서정

*H. Sohn(hsohn@kimm.re.kr), J. Suh(jsuh@kimm.re.kr)

한국기계연구원 지능형생산시스템 연구본부

Key words : Printed electronics, printing roll, laser patterning, photo-lithography

1. 서론

인쇄전자소자(printed electronics) 분야에서 RFID 등의 소자를 저가/대량 생산하기 위해서 인쇄공정을 활용하고 연구가 활발히 진행되어 있다. 인쇄공정에서 다수의 인쇄물을 이용하여 전자잉크를 유연한 substrate에 전사하게 된다. 현재 인쇄물을 가공하는 여러 가지 공정에 대한 연구가 진행되고 있으며, 레이저 미세가공 공정의 경우는 인쇄물에 레이저를 직접 조사하여 가공하는 direct 패터닝 공정과 인쇄물에 PR(photoresist)를 코팅하고 레이저를 조사하여 감광한 후 현상/에칭하여 인쇄물을 가공하는 indirect 레이저 패터닝 공정이 있다. 최근 인쇄전자소자의 집적도가 높아짐에 따라 인쇄물의 패턴 선폭 및 피치가 감소하고 있어 선폭 $20\mu\text{m}$ 이하의 패턴을 가진 인쇄물 패터닝 공정 개발에 대한 요구가 증가하고 있다.

본 연구에서는 선폭 $20\mu\text{m}$ 이하의 패턴을 갖는 인쇄물을 가공하기 위한 direct/indirect 레이저 패터닝 공정을 개발하기 위해 각각에 대한 기초실험을 수행하고, 가공조건에 따른 패턴의 치수를 비교한다.

2. 실험 장치 및 방법

Indirect 레이저 패터닝 공정의 공정 흐름도를 Fig. 1에 나타내었다. Steel 실린더에 Cu를 코팅한 후 연마기를 이용하여 정밀하게 연마하고, 다음에 PR을 균일하게 코팅한다. PR 코팅 후 인쇄소자 패턴의 형상대로 Nd:YAG 레이저를 조사하여 경화시키고, 인쇄물을 현상액이 담긴조에 넣어서 경화되지 않은 수지를 제거하고 에칭하여 패턴을 가공한다. 최종적으로 Cr 도금을 인쇄기에 물을 장착하여 패턴을 인쇄한다.

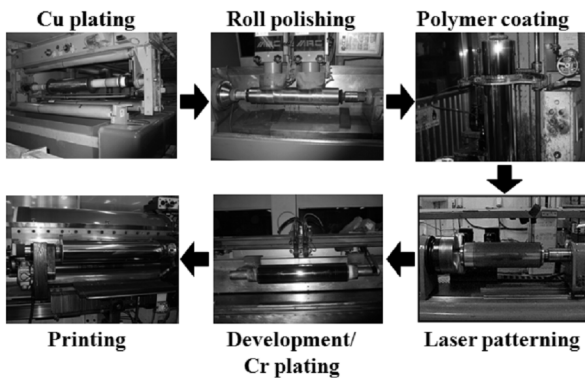


Fig. 1 Procedure of indirect laser patterning of print roll

Fig. 2는 Indirect 레이저 패터닝 장비의 광학계 및 컨트롤 시스템의 개략도를 보여 준다. Nd:YAG 레이저 발진기에서 발진된 레이저 빔은 반복율(repetition rate)이 매우 높기 때문에 AO modulator를 이용하여 가공에 적합하도록 반복율을 조절하여 준다.

Fig. 3은 Direct 레이저 패터닝 장비의 도식도이다. 사용된 레이저는 fiber 레이저이며, Table 1에 fiber 레이저의 사양을 요약하였다. 가공 시 Steel 실린더는 회전을 하게 되고, 레이저 빔을 집속(focusing)하는 objective 렌즈는 1축 linear 스테이지에 장착되어 이동된다. 인쇄물 구동축과 고정축은 일체형 LM 가이드(guide) 위에 설치되어 있으며, LM 가이드의 직진도는 $3/1000\text{mm}$, 행정은 600mm 임. 집속렌즈는 linear 스테이지 위에 설치되어

있으며, 리니어 스테이지의 분해능(resolution)은 $7/10000\text{mm}$ 이며, 행정은 450mm 이다. Objective 렌즈 이송용 스테이지의 분해능은 $1\mu\text{m}$ 이며, 구동축은 원주를 131072 등분하는 Encoder와 연결되어 있다. 인쇄물의 지름이 125mm 인 경우 구동축의 분해능은 원주를 131072로 나눈 $2.99\mu\text{m}$ 가 된다.

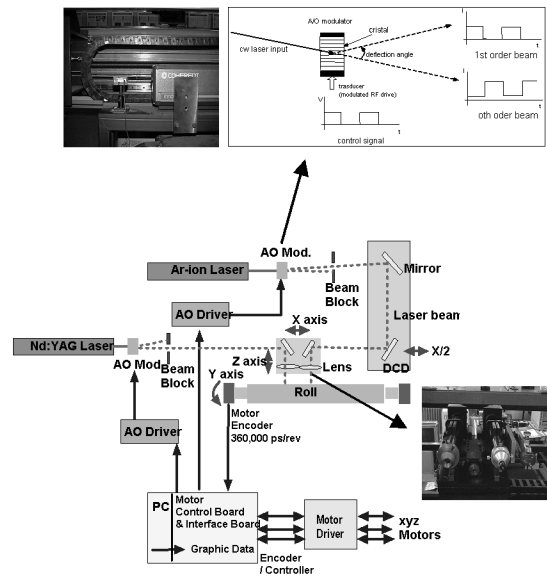


Fig. 2 Schematic of optical and control system for indirect laser patterning

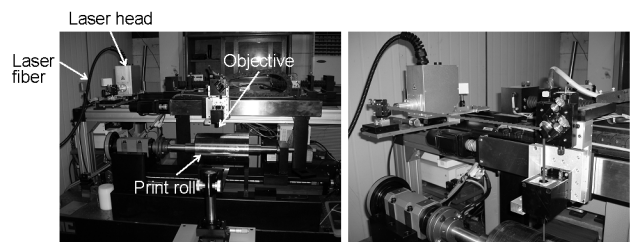


Fig. 3 Experimental setup for direct laser patterning

Table 1 Specifications of fiber laser

Wavelength (nm)	Pulse width (ns)	Beam quality (M^2)	Rep rate (kHz)	Ave. power (W)
1064	34	1.5	20-80	12

3. 결과 및 토론

3.1. Indirect 레이저 패터닝 공정

가공 패턴 형상은 인쇄물의 회전 영향을 고려하여 수평선, 수직선, 사선, 원호 등의 4가지 설정하였고, 패턴 선폭은 $20\mu\text{m}$, $30\mu\text{m}$, 패턴 간격은 $30\mu\text{m}$, $50\mu\text{m}$ 으로 설정하였다. 수지 코팅 두께는 $3\mu\text{m}$, $1\mu\text{m}$ 으로 두 번에 걸쳐 코팅이 이루어졌고 레이저 광경화한 후에 에칭공정에서 패턴 깊이를 $8\mu\text{m}$ 으로 설정하여 인쇄물을 에칭하였다. Fig. 4는 가공 완료된 인쇄물을 보여 준다.

Fig. 5는 에칭된 인쇄물의 패턴 형상을 보여 준다. 에칭 시 인쇄물

의 회전방향과 같은 방향의 수직 패턴의 경우는 에칭 후 패턴 형상이 균일하게 형성이 되었으나, 인쇄롤의 회전방향과 방향이 다른 수평, 사선, 원호 패턴의 경우는 패턴 모서리의 형상이 일그러짐을 볼 수 있다. 인쇄롤이 에칭조에 담겨서 회전하면서 인쇄롤의 회전방향과 상이한 각도를 가지는 패턴에 유입되는 에칭액의 양이 일정하지 않아 에칭이 불균일하게 이루어진 것으로 보인다.

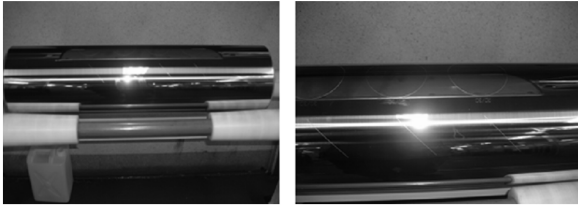


Fig. 4 Printing roll fabricated by indirect laser patterning

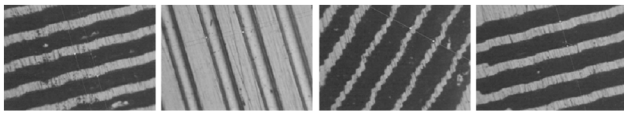


Fig. 5 Line patterns in a printing roll made by indirect laser patterning

가공된 인쇄롤을 이용하여 필름에 시험 인쇄한 결과를 Table 2와 Fig. 6에 나타내었다. 현미경 관측 결과 최소 선폭은 13 μm 이다. 각 패턴 형상에서 설계된 선폭과 실제 인쇄된 패턴의 선폭 간에 차이가 나타나는 것은 인쇄롤의 회전 방향과 패턴의 방향 차이, 에칭공정에서의 부식 차이, 인쇄 시 잉크의 침투량 등의 영향을 받은 것으로 보인다.

Table 2 에칭 후 인쇄롤의 선폭과 인쇄필름의 선폭

패턴 모양	인쇄롤 패턴 선폭	인쇄롤 패턴 간격	인쇄필름 선폭	인쇄필름 최소선폭
수평선	20 μm \rightarrow 30 μm	30 μm \rightarrow 19 μm	18~40 μm	18 μm
수직선	20 μm \rightarrow 27 μm	50 μm \rightarrow 40 μm	13~31 μm	13 μm
사선	20 μm \rightarrow 37 μm	30 μm \rightarrow 11 μm	14~43 μm	14 μm
원호	20 μm \rightarrow 32 μm	30 μm \rightarrow 16 μm	26~39 μm	26 μm

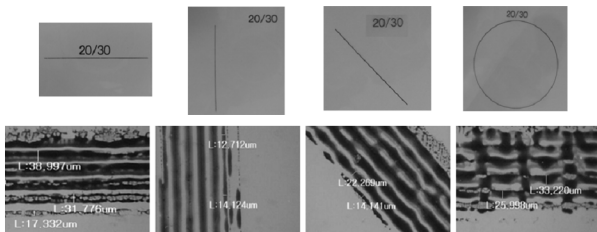


Fig. 6 필름에 인쇄 후 찍은 패턴사진

3.2. Direct 레이저 패터닝 공정

Fiber 레이저의 평균출력과 회전속도를 변수로 하고 아연 도금된 인쇄롤을 이용하여 기초실험을 수행하였다. Fig. 7에 레이저 출력 변화에 따른 가공된 패턴의 선폭 변화를 나타내었다. Steel 실린더에 Cu 도금을 하고 그 위에 Zn 도금을 한 후, 레이저 빔을 패턴 형상에 따라 조사하게 된다. Zn은 evaporation 에너지 레벨과 열전도율이 낮아 정밀한 미세 패턴 가공이 가능하다. 레이저 평균출력이 높을수록 용융물(melt)과 산화물이 많이 발생하게 된다. 가공된 패턴의 선폭은 27-40 μm 이므로, 최종적으로

로 Zn 층 위에 Cr(두께 : 5-10 μm)을 도금하게 되어 도금 결과에 따라 최소 선폭이 10 μm 이하가 될 수도 있다.

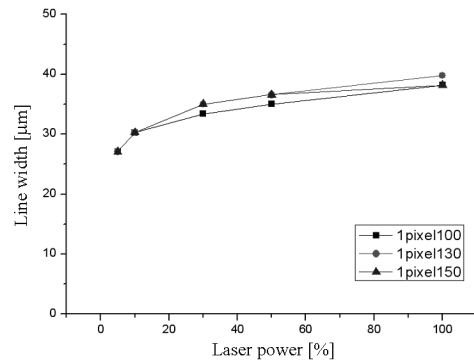


Fig. 7 Relationship between laser power and width

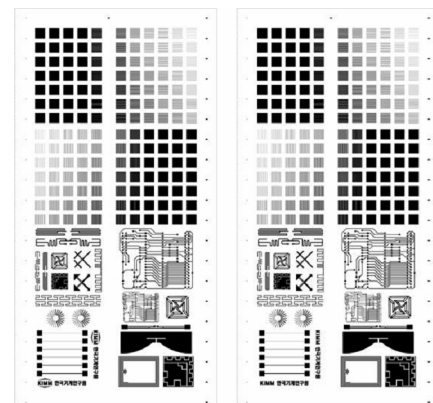


Fig. 8 Input file

기초 실험결과를 바탕으로 다양한 Fig. 8에서 보는 바와 같이 선폭, 피치, 형상을 가진 패턴을 Zn 도금된 인쇄롤에 가공하였다. Fig. 9는 레이저 패터닝된 Zn 도금 인쇄롤을 Cr 도금한 것을 보여 준다.

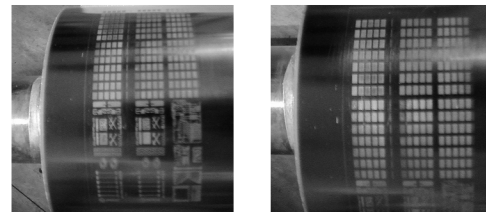


Fig. 8 Directly engraved patterns

4. 결론

인쇄공정으로 제작되는 인쇄전자소자를 제작하기 위해 인쇄롤을 가공하는 direct/indirect 레이저 패터닝 공정에 대한 기초 실험을 수행하였다. indirect 패터닝의 경우 Nd:YAG 레이저를 이용하여 PR층을 경화한 후 에칭하여 얻은 최소 선폭이 20 μm 이며, 이를 이용하여 필름에 인쇄잉크를 전사하여 얻은 최소 선폭은 13 μm 이다. Direct 레이저 패터닝 공정의 경우, fiber 레이저를 이용하여 Zn 도금된 인쇄롤 표면을 직접 패터닝하는 direct 패터닝의 경우 최소 선폭이 27 μm 였다.

참고문헌

1. B.Y. Ahn: *Printing Engineering* (Sejinsa, Korea 1997).
2. H.H. Xiao: Proc. SPIE Vol. 2118 (1994), p. 209-212
3. www.daetwyler.com
4. C. Jagadish: *Zinc oxide bulk, thin films and nanostructures: processing, properties, and applications* (Elsevier Science Ltd, 2006)