

## 인쇄용 롤 제작을 위한 간접식 레이저 패터닝에 관한 연구

강희신<sup>✉</sup>, 노지환, 서정

한국기계연구원 첨단생산장비연구본부 광응용기계연구실

## Study on Indirect Laser Patterning for Manufacturing the Printing Roll

Heeshin Kang, Jiwhan Noh, Jeong Suh

Department of Laser & Electron Beam Application, Advanced Manufacturing Systems Research Division,  
Korea Institute of Machinery & Materials

## Abstract

On behalf of the existing semiconductor process, the electronic devices to low-cost mass production to mass print the way, the research for development of roll-to-roll printing process is actively underway. This study was performed in about the research on the manufacturing technology of the printing roll used in the printing process of electronic devices. The indirect laser imprinting technology was used to create printable roll, and after coating copper on the surface of steel and thereon after coating polymer, after removing the polymer on the surface of roll, the printable roll was made. The laser system and roll feeder system were constructed and control program was developed. We has found the optimal conditions to perform laser patterning experiments using a system developed and We can make the minimum line width of 18  $\mu\text{m}$ .

**Keywords:** laser(레이저), printing(프린팅), roll(롤), patterning(패터닝)

## 1. 서 론

현재 대부분의 전자소자는 웨이퍼 기반의 반도체 공정으로 생산되고 있으며, 노광기술을 이용하는 반도체 공정은 고가의 장비와 극한의 공정기술을 필요로 하고 있다. 기존의 반도체 공정을 대신하여 전자소자를 저가로 대량생산할 수 있는 공정의 개발이 필수적이다. 이를 위해 최근 기존의 대량 인쇄방식인 롤투롤(roll to roll) 인쇄 공정을 기반으로 전자소자를 대량생산하는 공정 개발에 대한 연구가 진행되고 있다. 제 2의 반도체인 RFID 태그(tag), 전자종이(electric paper), 태양전지(solar cell), 스마트 센서(smart sensor) 등의 인쇄전자소자(printed electronics)를 대량으로 저가에 생산하기 위해 주목 받고 있는 공정 기술이 롤투롤 인쇄 방식이다. 이러한 생산 방식이 상용화되기 위해서는 전도성 잉크, 전도성 폴리머 등의 전자 잉크와 인쇄 장비의 두 가지 기술이 확보되어야 한다. 인

쇄물을 이용하여 전자소자를 인쇄하는 공정에 있어서 선행되어야 하는 기술은 인쇄물을 가공하는 기술의 개발이다. 인쇄물을 사용하는 공정에는 플렉소(flexo) 인쇄, 오프셋(offset) 인쇄, 스크린(screen) 인쇄, 그라비아(gravure) 인쇄 등이 있다.<sup>1,2</sup> 그라비아 인쇄용 롤을 제작하는 데는 전자조각, 간접식 레이저 각인(indirect laser engraving) 기술, 직접식 레이저 각인(direct laser engraving) 등이 있다.<sup>3,4</sup> 현재 간접식 레이저 각인 기술이 대표적인 기술이며 인쇄물 표면에 폴리머 또는 블랙 페인트를 코팅한 후 레이저 빔을 이용하여 전자소자 회로를 패터닝한 후 에칭 및 코팅 공정을 거쳐 롤 표면에 회로를 최종적으로 식각하고 있다. 최근 인쇄전자소자의 집적도가 높아짐에 따라 인쇄물의 패턴 선폭 및 간격이 감소하고 있어 20 $\mu\text{m}$ 이하의 선폭을 구현할 수 있는 인쇄물 패터닝 공정 개발에 대한 요구가 증가하고 있다. 본 연구에서는 선폭 20 $\mu\text{m}$  이하의 패턴을 갖는 인쇄물을 가공하기 위한 공정 기술로써 간접식 레이저 패터닝 기술을 개발하기 위해 시스템을 구성하고 기초 실험을 수행하였다.

투고일 : 2012년 12월 12일 심사완료일 : 2012년 12월 19일

계재승인일 : 2012년 12월 26일

교신저자 : 강희신 ✉ khs@kimm.re.kr

패터닝 실험을 통해 만들어진 미세 선폭을 광학현미경으로 관찰하여 최적의 레이저 조건을 도출하였으며, 레이저 패터닝 시스템의 정밀도를 향상시키고 제어 소프트웨어를 개발하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

Fig. 1(a)는 본 연구를 통하여 프린팅 롤 제작을 위해 구성된 레이저 패터닝 시스템이다. Fig. 1(a)는 동 도금된 롤 표면에 블랙 폴리머가 도포된 롤의 사진이며 스프레이 코팅 방식을 사용하였다. Fig. (b)와 같은 레이저 패터닝 시스템을 이용해 레이저 패터닝 실험을 수행하였다. 레이저를 조사하여 롤 표면의 블랙 폴리머를 제거하여 패턴을 완성한 후 (c)와 같은 에칭 및 도금 공정을 통해 최종적으로 프린팅 롤을 제작하였다. 시스템의 주요장치 중 레이저 발전기는 100W급 파이버 레이저 시스템을 사용하였으며, 이송 장치는 X-Y 테이블과 롤 회전축, 레이저 스캐너 및 광학계로 구성이 된다. 레이저 헤드 이송 방식 보다 고속 패터닝이 가능한 레이저 스캐너 시스템을 장착하였다. 레이저 스캐너, 레이저 시스템, 이송축과의 인터페이싱을 토대로 스캐너 기반 프린팅 롤 레이저 패터닝 시스템을 구축하였다.

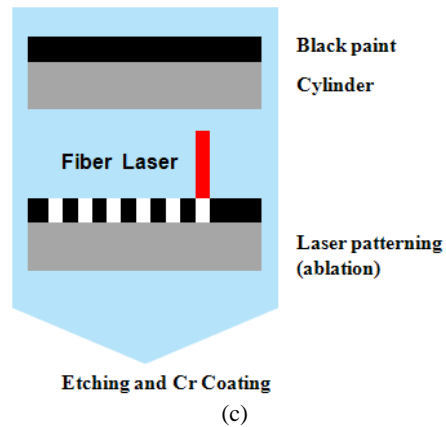
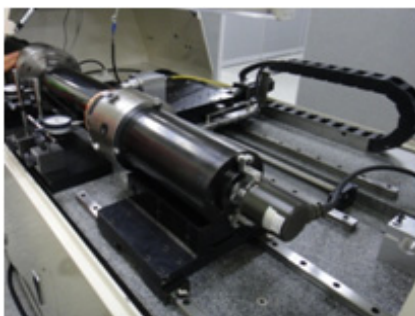
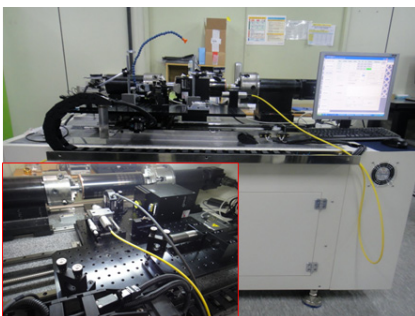


Fig. 1 Indirect laser patterning for manufacturing printing roll; (a) Polymer-Coated roll (b) laser patterning system, (c) manufacturing process.

베이스 롤을 설계 및 제작하였고 프린팅 롤 제작을 위한 레이저 패터닝 시스템에 대한 기초 성능시험 및 평가를 실시하였다. 프린팅 롤 레이저 가공 공정에 관하여 기초 연구를 수행하기 위해 레이저 출력과 롤 회전축 속도, 초점 거리 및 집속 렌즈를 변화시키며 실험을 수행하였다. 공정 변수와 선폭과의 상관성에 대한 관찰을 통해 최적의 공정변수를 찾고자 하였다. 롤 가공용 레이저 패터닝 시스템의 정밀도를 판별하기 위해 회전 속도와 롤 위치에 따른 레이저 패터닝 실험을 수행하였다. Table 1은 레이저 패터닝 시스템의 사양이다. Table 2는 블랙 폴리머의 주요 구성 성분을 보여 준다.



(a)



(b)

Table 1 Specification of laser patterning system

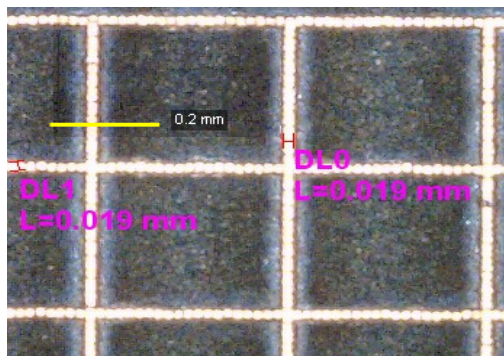
Laser Power	100W
Laser Wave length	1070nm
Focal Length of Object lens and F-theth lens	16mm
Focal Length of F-theta lens	57mm
Diameter of Beam Spot	20 $\mu$ m
Moving Stage	XY table
Speed of rotating	20rpm
Diameter of Printing Roll	125mm
Thickness of Copper Coating	250 $\mu$ m
Thickness of Black Polymer	3~4 $\mu$ m
Thickness of Chrome Coating	6~7 $\mu$ m

Table 2 Composition of black polymer

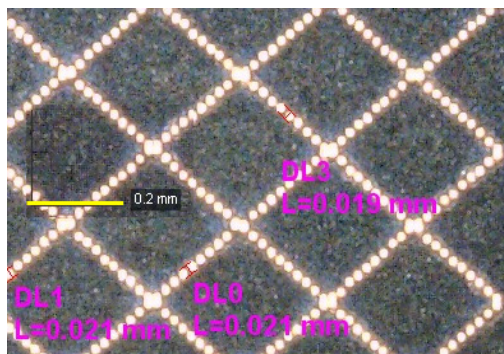
Chemical name & Common Name	Contents(%)
Acryl groups resin	9.0-11.0
Inorganic pigments	4.5-5.5
Propyleneglycol mono ethyl ether	21.0-23.0
Isopropyl alcohol	3.0-5.0
Toluene	8.0-10.0
Methyl ethyl ketone	12.0-14.0
Ethyl acetate	34.0-36.0

### 3. 실험결과

기초 실험을 통해 레이저 출력 24W, 회전 속도 20rpm의 조건에서 반복 실험을 수행하였고, 최소 선폭을 구현할 수 있었다. Fig. 2,3은 블랙 폴리머가 코팅된 롤에 레이저 패터닝 공정과 에칭공정 후의 선폭들을 측정한 사진들이다. 각각의 확대 사진들은 레이저가 조사되고 블랙 폴리머가 식각된 후에 구리층이 선명하게 보이는 선폭 사진들이다. 기존 UV 레이저를 이용한 광경화 방식과 달리 폴리머의 현상 공정이 없는 블랙 폴리머 도포 방식을 사용하였다. 구리층이 코팅된 스틸 롤 표면에 블랙 폴리머를 도포한 후 패턴의 형상대로 레이저를 조사하여 원하는 부분의 페인트를 제거하였다. 레이저 패터닝이 끝난 롤에 에칭 및 크롬 코팅 공정을 적용하여 최종적으로 프린팅 롤로 완성하였다. 수평선의 경우 최소 선폭이 18 $\mu$ m이며, 수직선의 경우 최소 선폭이 20 $\mu$ m이다.

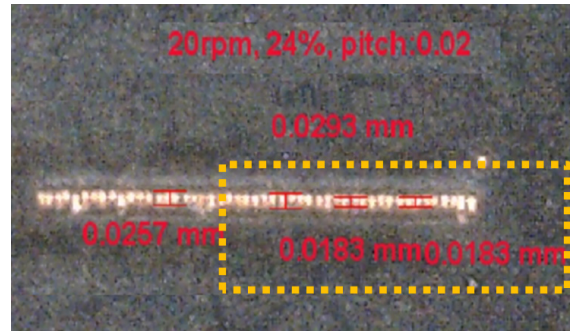


(a)

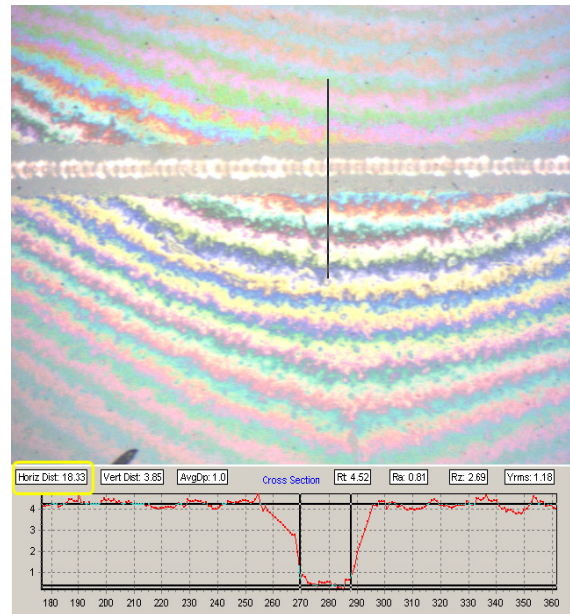


(b)

**Fig. 2** Measurements of line width after laser patterning: (a) vertical and horizontal line, 19 $\mu$ m (b) diagonal line, 21 $\mu$ m.



(a)



(b)

**Fig. 3** Measurements of horizontal line width, 18  $\mu$ m ; (a) after laser patterning (b) after etching process.

Fig. 4는 블랙 폴리머가 코팅된 롤에 레이저 스캐너를 이용하여 길이 5mm의 직선들을 패터닝한 사진이다. Fig. 5는 블랙 폴리머가 코팅된 롤에 레이저 스캐너를 이용하여 레이저 패터닝을 수행한 후의 패터닝된 선폭들을 측정하는 사진들이다. 현미경을 이용하여 수직 및 수평선의 선폭을 측정하여 26 $\mu$ m의 측정값을 얻을 수 있었다. 구리층이 코팅된 스틸 롤에 블랙 폴리머를 도포한 후 패턴의 형상대로 레이저를 조사하여 블랙 폴리머를 제거하였다. 각각의 확대 사진들은 레이저가 조사되고 블랙 폴리머가 식각된 후에 폴리머층 아래에 있는 구리층이 보이는 미세 선들이다.



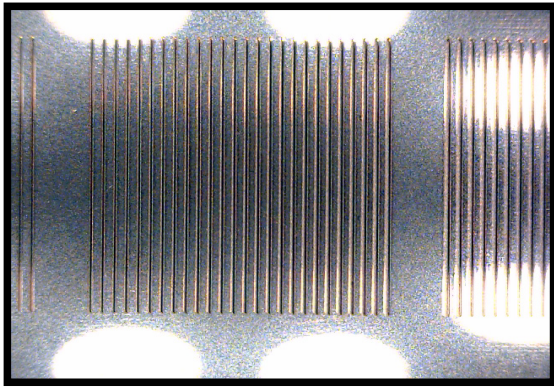
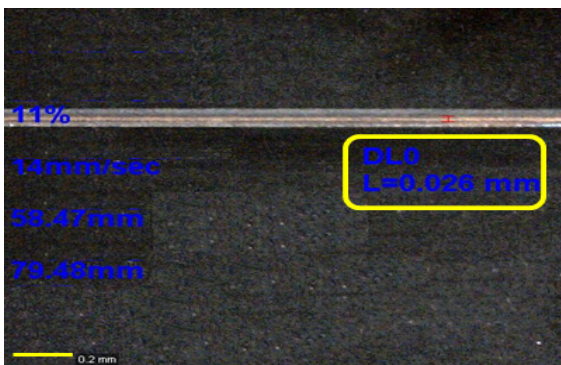
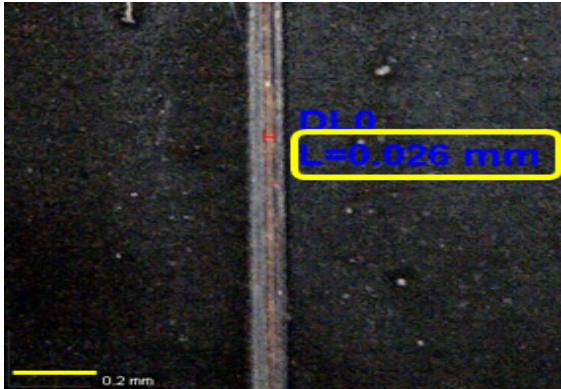


Fig. 4 Vertical lines of 5mm length after laser patterning; vertical line width,  $26\mu\text{m}$ .



(a)



(b)

Fig. 5 Measurements of line width after laser patterning,  $26\mu\text{m}$ ; (a) vertical and (b) horizontal line.

#### 4. 결론

본 연구에서는 1070nm 파장대의 100W급 파이버 레이저를 이용하여 프린팅 롤을 제작하는 공정에 대한 연구를 수행하였으며, 블랙 폴리머 코팅을 이용하는 간접식 레이저 패터닝 방식을 채택하여 실험을 하였다.

최적의 레이저 패터닝 조건을 찾았으며, 전자인쇄용으로 사용하기 위한 인쇄물의 최소 선폭 목표치는  $20\mu\text{m}$ 이며, 실험결과는 수평선의 경우 최소 선폭이  $18\mu\text{m}$ 이며, 수직선의 경우 최소 선폭이  $20\mu\text{m}$ 이었다. 또한, 레이저 스캐너를 이용하여 레이저 패터닝 실험을 수행하였으며, 그 결과는 수직 및 수평선의 최소 선폭이  $26\mu\text{m}$ 이었다. 레이저 식각이 된 미세 패턴의 관찰을 통해 블랙 폴리머의 잔류물이 일부 남아 있음을 알 수 있었다. 후 공정인 에칭 공정을 통해 폴리머와 동 도금층을 제거하였고 에칭 선폭을 측정한 결과값은 패터닝 선폭 보다  $10\mu\text{m}$  정도 증가하였다. 레이저 스캐너를 이용하여 롤의 레이저 패터닝 시 원주 상의 곡률에 변화에 따른 초점 거리의 변화가 중요한 인자라는 것을 알 수 있었다. 레이저 집속 렌즈를 이용했을 경우에 레이저 스캐너를 이용했을 때 보다 작은 미세 선폭을 구현하기 위해서는 좀 더 복잡한 광학계를 구성해야만 하였다.

본 연구를 통해 얻어진 공정 및 시스템에 관한 연구결과를 바탕으로 향후 시스템의 성능을 향상시키고 정밀도를 높이고자 한다.

#### References

- 1) 최병오, 김동수, 이택민, 김충환, 이명훈, 임규진, “미세 선폭 롤 프린팅 공정에 대한 연구,” 대한기계학회, 추계학술대회 강연 및 논문 초록집, pp. 2377-2381, 2005.
- 2) 서정, “인쇄 전자소자(printed electronics)용 R2R 인쇄를 레이저 제판,” 한국광학회, 광학과 기술, 제13권 제4호, pp. 25-31, 2009.
- 3) 손현기, 서정, “레이저 응용 printed electronics용 direct/indirect 인쇄를 패터닝 기술,” 한국정밀공학회, 2008년도 춘계학술대회 논문집, pp. 399-400, 2008.
- 4) 고성림, “그라비아 인쇄를 가공기술,” 대한기계학회, 기계저널, 제49권 제8호, pp. 37-40, 2009.