

리소그래피 공정을 이용한 미세패턴-롤 제작 Fabrication of Micropatterned-Roll using Lithography Process

*#조정대¹, 유종수¹, 김광영¹, 최병오¹, 이응숙¹

*#Jeongdai. Jo (micro@kimm.re.kr)¹, J. S. Yu¹, K. Y. Kim¹, B. O. Choi, and E. S. Lee¹

¹한국기계연구원 나노기계연구본부

Key words : micropatterned roll, photolithography, flexible-mask, roll-to-roll printing

1. 서론

전자 및 디스플레이 산업 관련 부품의 소형화, 고정도화, 박판화 추세에 따른 정밀한 미세패턴 제작 공정, 장비와 소자의 성능향상에 능동적 대응을 위해서는 수십 μm 이하의 패턴을 인쇄(printing)할 수 있는 고해상 미세패턴-롤(micropatterned roll) 성형 기술의 확보가 요구되고 있다 [1].

기존의 레이저 기술 또는 전통적인 가공기술은 20 μm 이하의 패턴을 비평면(nonplanar)에 제작하는 것이 불가능하였다. 또한 이러한 패턴을 형성하기 위해 사용되어왔던 리소그래피(lithography) 방법은 평면(planar) 패턴닝(patterning)에 사용되어 왔으며, 기존의 평면 마스크로는 8" 이상의 패턴닝을 할 경우 많은 패턴 결함 및 불량과 대면적 패턴에 있어서 많은 비용이 필요로 하는 단점을 가지고 있었다 [2].

필름(film) 및 플라스틱(plastic) 등의 유연한(flexible) 기판 위에 인쇄 공정을 이용하여 정밀도를 수십 μm 급 저가의 RFID Tag, 전자종이(e-paper), 태양전지(solar cell)와 스마트 패키지(smart package) 등의 차세대 인쇄기전소자(PEMS) 및 인쇄전자소자(printed electronics) 제품을 만들 수 있는, 향후 거대시장 형성에 대응할 수 있는 생산 시스템인 롤투롤(roll-to-roll) 공정 및 시스템 개발이 요구되고 있다. 이의 미세패턴-롤이 필수적인 요소가 되었고, 이로 인하여 실린더(cylinder) 또는 롤 등의 곡면 기층에 대한 미세 패턴닝 기술개발이 더욱 필요하게 되었다 [3, 4].

본 연구에서는 고해상 미세패턴을 롤 또는 실린더와 같은 원통형의 기판에 유연성 마스크와 리소그래피공정을 이용하여 20 μm 이하의 대면적 패턴을 제작하였다.

2. 미세패턴-롤 제작

고해상 미세패턴-롤의 제작은 임의의 패턴을 갖는 마스크(mask)를 설계 및 제작하고, 롤의 표면에 감광액(photoresist)층을 박막도포(coating)하고, 유연성을 갖는 마스크를 실린더 표면에 밀착하여 감싼 후 롤에 도포된 감광액층을 리소그래피 공정하고, 감광액을 현상 및 식각(etching)하는 공정으로 나누어 수행하였다.

본 연구에서는 유연성을 가지는 마스크 사용하였으며, 패턴 간격 10 μm 및 20 μm 선폭을 가지는 마스크와 유기박막구동소자(OTFT) 및 5 단 발생기(oscillator) 설계된 마스크를 각각 제작하여 실험하였다.

롤 표면에 감광액층을 도포하기 전에 실린더의 수분을 제거하기 위해 N2 분위기에서 순수(deionized water), 아세톤 및 메탄올과 함께 사용하여 건조기(dry oven)에서 110 $^{\circ}\text{C}$ ~ 120 $^{\circ}\text{C}$ 에서 10 분간 건조(prebake)하였으며, 낮은 표면에너지(low surface energy)를 가진 소수성(hydrophobic)의 롤 표면을 높은 에너지를 가진 친수성(hydrophilic)으로 바꾸기 위해 플라즈마 처리(plasma treatment)를 하여, 감광액의 접착력을 높이는 전처리 공정을 수행하였다. 표면 처리된 롤을 도포함에 있어 일반적으로 패턴의 크기가 작으면 감광액층의 두께도 얇아져야 됨으로 롤을 감광액에 담 그고(dipping), 최대한 얇게 감광액이 균일하게 코팅될 수 있도록 회전시켰다. 또한 얇게 감광액층을 도포하기 위해 저점도 감광액을 사용하였다. 경화조건은 온도가 너무 높으면 감광액층이 열에 의해 손상될 수 있으므로 80 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 ~ 10 분간 경화(soft baking)하여 감광액 박막을 형성하였다.

롤에 유연성 마스크를 부착할 때, 투과된 빛이 회절하여 패턴전사의 정밀도가 떨어지지 않도록 유연성 마스크와 롤에 접촉 및 이형이 잘되도록 표면처리를 하고 밀착시켜 부착하였다. 유연성 마스크를 감싼 롤의 리소그래피 공정은 유연성 마스크에 I/G-line 자외선을 조사함으로써 패턴을 전사하게 된다.

리소그래피 공정 후에 롤을 현상액에 넣고 현상을 하였으며, 현상액으로는 크게 염기성의 수용액과 솔벤트(solvent) 류가 있는데, 대부분은 수산화칼륨(KOH) 수용액과 같은 염기 수용액을 사용하였다. 현상 후에 순수를 세정용으로 사용하여 불순물을 제거하는데, 세정 효과를 높이고 건조 시간을 단축하기 위해서 순수를 가열하여 사용하였다. 현상 및 세정이 끝나면 현상과정에서 풀어진 폴리머(polymer) 조식을 단단하게 만들기 위해 80 $^{\circ}\text{C}$ 에서 5 분 이상 경화(postbake)한 후, 습식(wet) 또는 건식(dry) 식각 공정을 수행하였으며, 현상공정을 통해 형성된 패턴과 동일한 금속 패턴을 제작한 후 감광액층을 제거하여 패턴을 제작하였다.

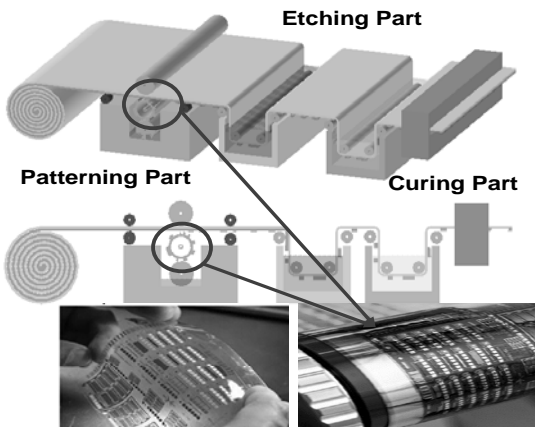


Fig. 1 Roll-to-roll printing system with high-resolution micropatterned roll

Table 1. Specification of processing

Process	Condition
Pretreatment	O ₂ Plasma, 20 mTorr, < 2 min.
Prebake	110 $^{\circ}\text{C}$, < 10 min., oven
Coat	1000 RPM
Softbake	80 $^{\circ}\text{C}$, < 10 min., oven
Exposure	I/G-line exposure tool
Development	23 \pm 1 $^{\circ}\text{C}$ batch for 60~120 sec
Postbake	80 $^{\circ}\text{C}$, > 5 min., oven
Removal	Remover series, O ₂ plasma
Etch	Wet or dry

3. 실험결과 및 고찰

유연성 마스크와 리소그래피 공정을 사용하여 지름 10cm, 6cm 와 길이 20cm, 10cm 에 미세패턴-롤 제작 실험을 수행하였다. 롤과 마스크는 면접촉이 아닌 선접촉을 하기 때문에 단위면적당 노광량이 작으므로 자외선에 노출되는 시간을 평면보다 1.5 에서 2.5 배 정도로 긴 시간인 5 ~ 6 분정도로 곡면 리소그래피 공정을 하였다. 리소그래피 공정 시간이 작은 경우에는 공정 후 롤을 현상액에 담그면 패턴이 현상되지 않고, 감광액층이 반응을 하지 않으며, 리소그래피 공정 시간이 매우 긴 경우에는 유연성 마스크의 패턴 이상으로 현상되거나 감광액층 전체가 벗겨지는 결함이 발생되었다. 평면 기층이 아닌 곡면기층에서의 리소그래피 공정은 곡률 반경에 따른 부족한 리소그래피 (insufficient lithography) 공정, 과잉 리소그래피(excess lithography) 공정과 빛의 굴절(Refraction of light) 등의 문제점들로 인하여 결함과 불량 발생을 알 수 있다.

선폭이 20 μ m 및 10 μ m 패턴, 유기박막구동소자(OTFT) 및 5 단 발생기(oscillator)와 유기발광소자(OLED) 가 패턴된 롤을 Fig. 2 에 나타내었다.

리소그래피 공정 및 식각 공정 수행한 미세패턴-롤을 광학측정기(optical microscope)로 측정 결과, 설계패턴크기 10 μ m 의 선패턴에 대해서는 9.9 μ m 와 11. 6(11.0) μ m 크기로, 20 μ m 에 대해서는 21. 7(20.2) μ m 크기로 제작되었고 Fig. 3 (a), (b)와 (c)에 나타내었으며, (d)에 15 μ m 크기의 V 선을 갖는 패턴을 나타내었다. 설계대비 제작결과에 대한 변화율 (variation)과 편차(deviation)가 5% 정도의 값을 가짐을 확인할 수 있었다.

4. 결론

고해상 미세패턴을 롤 또는 실린더와 같은 원통형의 기관에 유연성 마스크와 리소그래피 공정을 이용하여, 전통적인 가공기술과 레이저 기술에서 불가능 했던 20 μ m 이하의 패턴을 제작하였으며, 대면적 패턴에 있어서 패턴 결함 및 불량의 문제점들을 해결하였다. 롤의 회전방법, 고정밀 위치정렬과 표면처리등의 공정조건을 개선한다면 고해상 패턴-롤 성형 기술로서 사용은 물론, 평면 패턴닝 리소그래피 공정에서 벗어나 유연한 기관의 패턴닝과 대량 생산을 위한 그라비어 인쇄, 읍셋 인쇄 및 플렉소 인쇄와 같은 롤 투롤 연속공정으로서의 응용이 가능하리라 판단된다.

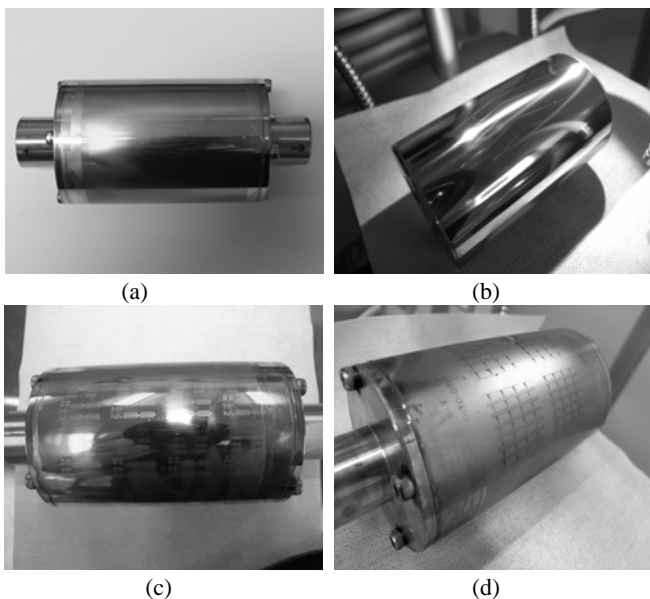


Fig. 2 Images of fabrication of high-resolution micropatterned roll: (a) line patterns, (b) V line patterns, (c) OTFT and ring oscillator patterns, and (d) OLED with OTFT patterns.

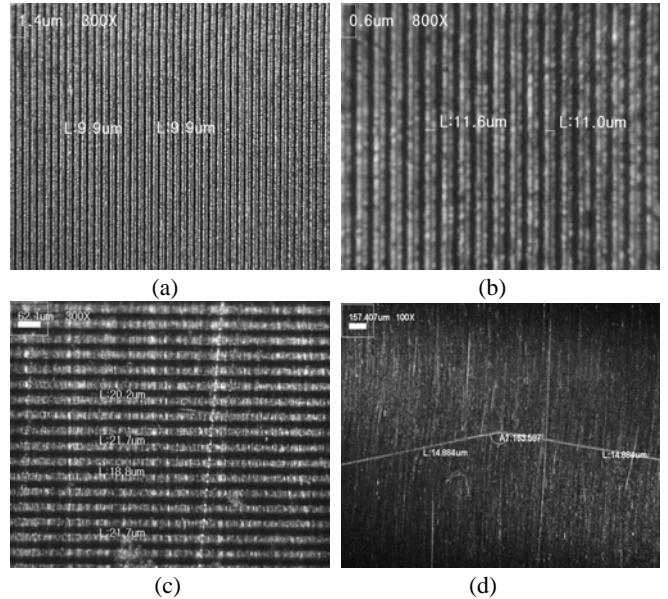


Fig. 3 Images of optical microscope for micropatterned roll with line width of (a) 9.9 μ m, (b) 11.6(11.0) μ m, (c) 21.7(20.2) μ m, and (d) 14.8 μ m V line patterns.

후기

본 연구는 (주) DCN (변창완 사장)의 연구지원과 한국기계연구원 Buy-KIMM Tech. 사업 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. C. D. Dimitrakopoulos and D. J. Mascaró, IBM J. Res. Dev. **45**, 11 (2001).
2. J. A. Rogers, Z. Bao, and H. E. Katz: Materials, Patterning Techniques and Application, Thin Film Transistors, Organic Transistors, eds. C. R. Kagan and P. Andry (Marcel Dekker, New York, 2003) p.377.
3. J. S. Yu, Jeongdai. Jo, D. S. Kim, and D. J. Kim, Proc. KSPE2007, (2007).
4. Jeongdai Jo, JongSu Yu, Kwang-Young Kim, Eung-Sug Lee, and Byung-Oh Choi, Exposure device for non-planar substrate, patterning method for non planar substrate using the device and patterned non-planar substrate using the method thereof, KOR0004580, 2007.