

나노 임프린트 리소그래피법에 의한 나노미터급 원기둥 패턴을 갖는 도광판의 제작 공정 개발

Development of Fabrication Process of Light Guiding Plate with Nanometer-Sized-Cylindrical Pattern Using Nano Imprint Lithography Method

이 병 옥, 홍 진 수, 김 창 교*
(Byoung-Wook Lee, Chinsoo Hong, and Chang Kyo Kim)

Abstract : PMMA light guiding plate with nano pattern was fabricated by nano imprint lithography method. A silicon mold for electroplating of nickel was fabricated by conventional photolithography process. A nickel stamp for nano imprint lithography was fabricated by electroplating process using silicon mold. The nano imprint lithography was performed on PMMA plate at 140°C under pressure of 20kN. The nano pattern on PMMA plate was investigated using FE-SEM. It is shown that the patterns were well transferred for several steps and the nano imprint lithography method could be applied for fabricating patterns of light guiding plate.

Keywords : TFT-LCD, backlight unit, light guiding plate, nano imprint lithography

I. 서론

TFT-LCD는 자체 광원이 없기 때문에 LCD화면을 보기 위해서는 뒷면에서 LCD 패널에 광을 공급해주는 장치가 필요한데, 그 부분이 BLU(Back Light Unit)이다[1]. 광원으로 사용되는 LED 또는 형광등으로부터 밝기가 균일한 평면광을 만드는 기능을 하며, 모듈의 두께 및 소비전력은 BLU의 두께를 얇게 하면서 광 이용률을 향상시키는지에 따라 크게 좌우된다. 도광판(LGP : Light Guiding Plate)은 BLU에서 가장 핵심이 되는 부품으로 광의 경로가 전면으로 향하는 곳이다.

광의 경로는 매질의 변화가 있어야만 일어나기 때문에 도광판 안에서는 경로변경이 없다. 광의 경로를 변경시키기 위해서는 도광판에 패턴을 형성시켜 광의 경로를 변경시키고 있다. 초기의 도광판은 인쇄형으로 제작하였다. 인쇄형이란 아무런 패턴이 없는 도광판을 먼저 제작한 후에 추가 가공으로 실크 스크린을 이용하여 도트 패턴을 인쇄하는 방식이다. 최근에는 도광판의 제작은 무인쇄형으로 이루어진다. 무인쇄형은 스템퍼에 패턴을 직접 가공하여 사출성형 공정으로 패턴을 도광판에 전사시키는 것을 말한다. 이는 따로 인쇄를 하지 않아도 되는 장점을 가지고 있다. 최근 휴대폰산업의 발달로 생산량이 증가하고 있으며 원가 절감을 위하여 스템퍼에 가공되는 광학패턴들의 형태를 조절하여 추가로 사용하는 다기능 도광판 등 다양한 기술들이 개발되고 있다[2,3].

나노 패턴을 사용하지 않은 전통적인 방법으로 제작된 도광판의 경우에 투과된 빛이 도광판으로부터 15° 이하의 낮은 각도로 출광되기 때문에 두장의 프리즘쉬트와 확산쉬트를 부착하여 15° 이하로 출광되는 빛을 도광판과 거의 수직인

빛이 LCD 패널로 향하게 한다. 도광판상에 포토닉 크리스탈 형태의 나노 패턴을 형성할 경우에 도광판으로부터 출광되는 빛이 70° 이상이 되므로[4-6] 도광판에 나노패턴을 형성하여 도광판을 제작할 경우에 고휘도 BLU를 얻을 수 있는 장점이 있기 때문에 이에 대한 연구가 진행되고 있다.

정보통신기술, 나노기술, 바이오기술은 나노 사이즈에서 마이크로 사이즈의 넓은 범위의 패턴들을 손쉽게 값싸게 제작할 수 있는 기술을 필요로 하고 있다. 이러한 요구에 부응하는 기술이 나노 임프린트 리소그래피 기술이다. 나노 임프린트 리소그래피 기술은 1995년 미국 Princeton 대학의 Stephen Chou교수가 처음 제안한 기술로서 10nm의 미세나노 패턴부터 수mm의 대면적 패턴까지 쉽게 복제할 수 있는 패터닝 기술로 상용화 기술로서의 응용을 위해 주목을 받으며 폭넓게 연구되고 있다[7-10].

본 논문에서는 나노미터급 패턴을 쉽게 제작할 수 있기 때문에 나노 임프린트 리소그래피 기술을 채택하였다. 기존의 기계적인 정밀가공법으로는 나노 임프린트 리소그래피용으로 사용되는 나노미터급 패턴을 갖는 스템퍼를 제작하기가 어렵기 때문에 MEMS공정을 이용하여 나노미터급 패턴을 갖는 스템퍼를 제작하였다. 포토리소그래피 공정과 건식식각 공정을 이용하여 실리콘 몰드를 제작하였다. 실리콘 몰드에 니켈을 도금하여 나노 임프린트 리소그래피 공정을 위한 스템퍼를 제작하였다. 제작된 스템퍼를 이용하여 나노 임프린트 리소그래피 기술을 이용하여 나노 패턴을 갖는 PMMA 도광판을 제작하였다. 본 논문에서 개발된 나노 임프린트 리소그래피 기술은 200nm크기의 패턴을 갖는 도광판 제작에 직접 적용할 수 있음을 확인하였다.

II. 실험

그림 1은 나노임프린트 리소그래피법을 이용하여 나노패턴을 갖는 도광판을 제작하기 위한 공정도를 보여주고 있다. 포토리소그래피 공정은 한국과학기술원 나노랩센터에서

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 1. 31., 채택확정 : 2008. 2. 24.

이병옥, 김창교 : 순천향대학교 전자정보공학과

(zzsleep@hanmail.net/ckkim1@sch.ac.kr)

홍진수 : 순천향대학교 전자물리학과(schpch@naver.com)

* 본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-02) 지원으로 수행되었음.

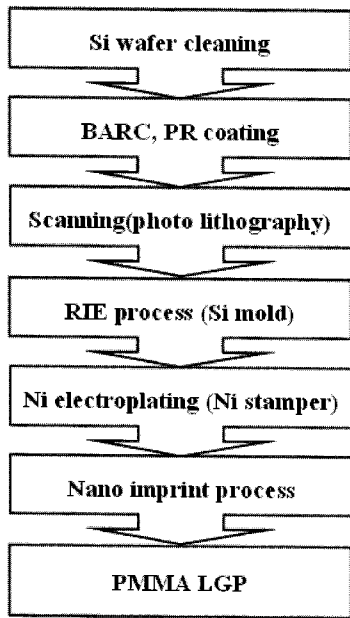


그림 1. 나노미터급 원기둥형 패턴을 갖는 PMMA 도광판 제작 순서도.

Fig. 1. Flowchart of fabrication process of PMMA light guiding plate with nanometer-sized cylinder pattern.

수행하였다. 실리콘 웨이퍼의 세척을 끝낸 후 실리콘 웨이퍼 상부에 노광시 정재파(standing wave)를 감소시키기 위해 PR (photoresist)를 스피너를 이용하여 도포하기 전에 BARC (Bottomed Anti-Reflective Coating)를 스피너를 이용하여 도포하였다. KrF 스캐너(Nikon S203-B)를 이용한 포토리소그래피 공정으로 기 도포된 PR의 나노패턴을 얻었다.

실리콘 몰드의 나노패턴을 얻기 위해서 RIE(Lam Research TCP9600DFM)를 이용하여 건식식각법을 이용하여 제작하였다. 식각공정은 Breakthrough(BT) 공정과 Main Etching(ME) 공정의 2단계로 진행하였다.

형성된 실리콘 몰드를 이용하여 도금기(Digital Matrix SA/2MEM)를 이용하여 도금 공정을 수행하여 나노임프린트 공정을 위한 스탬퍼를 제작하였다. 실리콘 몰드 위에 10nm의 Ti와 80nm의 Ni를 도금을 위한 씨울기(seed layer)로서 증착하였다. Ni sulfamate 용액은 Ni 농도는 94g/l이었고 40g/l의 boric acid를 첨가하여 용액의 pH를 조절하였다. 니켈도금액의 온도는 50°C이었고 pH 값은 4로 유지하였다. 처음 30분 동안 전주도금 시 스트레스의 발생을 낮추기 위해 0.5nm/s의 낮은 도금율로 도금을 하였고 이후에 도금율을 증가시켰으며 전류밀도는 0.5A/cm² 이었다. 도금이 끝난 후 Ti/Au층을 습식식각하여 실리콘 웨이퍼와 니켈 스탬퍼를 분리하였다.

나노임프린터 (Jenoptik HEX01)에 완성된 니켈 스탬퍼를 장착하여 나노임프린트 공정을 수행하였다. PMMA 기판을 나노임프린터에 삽입한 뒤 PMMA 기판과 니켈 스탬퍼를 가열하여 약 140°C를 유지하도록 하여 접촉시킨다. 처음 접촉시 압력이 크게 되면, PMMA 기판이 상할 수 있으므로 300N 정도로 작게 하여 접촉시켰다. PMMA 기판과 니켈 스탬퍼가 접촉되면 20kN의 압력을 가해 molding이 되도록 하였다. Molding 공정이 완료되면 니켈 스탬퍼와 PMMA 기판의 온

도를 약 70°C로 낮춘 후 니켈 스탬퍼와 PMMA 기판을 분리하여 PMMA 도광판을 완성하였다.

III. 결과 및 고찰

포토리소그래피 공정에서 패턴을 형성하기 위한 마스크의 패턴의 크기는 250nm이었다. 그림 2는 포토리소그래피 공정의 hard bake 후의 PR패턴의 FE-SEM사진을 보여주고 있다. BARC를 이용한 결과 패턴이 정교하게 이루어졌음을 보여주고 있다. 9군데의 FE-SEM사진을 분석하여 계산한 결과 패턴 크기의 평균값은 259nm로 목표값인 250nm에 거의 근접함을 알 수 있다.

실리콘 몰드를 제작하기 위해서 포토리소그래피 공정으로 얻은 PR 패턴을 RIE식각공정의 마스크로 이용하였다. 식각공정의 첫 번째 단계인 BT 공정은 7mTorr 진공이었고 TCP 전력은 250W이고, 인가전압은 -300V이었고 식각용 주입가스는 CF₄이었다. 두 번째 단계인 ME 공정은 15mTorr 진공, TCP 전력 600W, 인가전압 -160V, 주입가스는 Cl₂/O₂/HBr 인 조건에서 수행하였다. 그림 3은 식각후 원기둥 패턴을 보여주고 있다. 그림 3에서 보여지는 것처럼 원기둥 패턴은 PR패턴의 크기가 259nm이었던 것에 비하여 식각공정 후의 실리콘은 원기둥의 맨 위쪽(top)부분은 210nm이고 맨 아래쪽(bottom)은 280nm이었다. 식각 깊이는 250nm이었다. 그림 3에 보이는 바와 같이 실리콘은 불소와는 큰 반응성을 갖고

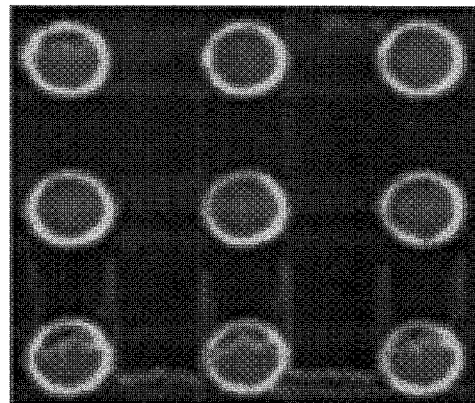


그림 2. Hard bake 후의 PR패턴의 FE-SEM 이미지.
Fig. 2. FE-SEM image of PR pattern after hard bake.

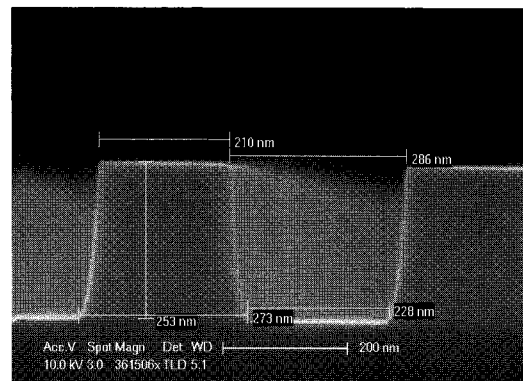
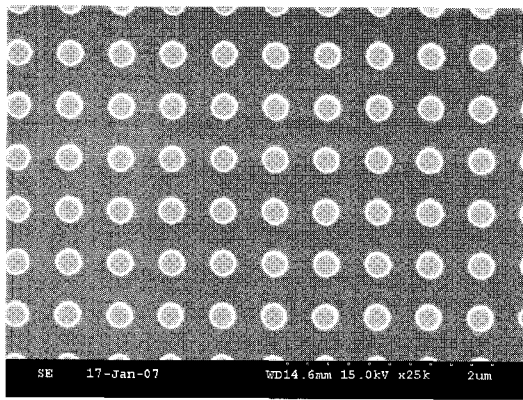
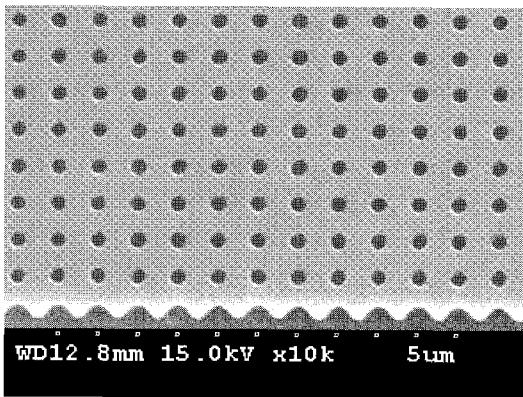


그림 3. 실리콘 몰드 FE-SEM 이미지.
Fig. 3. FE-SEM image of silicon mold.



(a) Si mold



(b) Ni stamp

그림 4. 원기둥형 패턴의 실리콘 몰드와 니켈 스탬퍼의 전사성 비교.

Fig. 4. Comparison of transferring between silicon mold and nickel stamp.

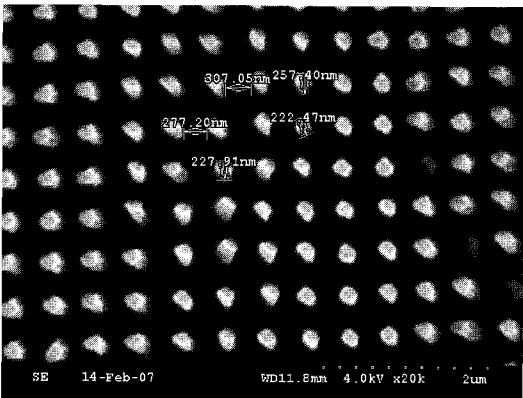


그림 5. PMMA 도광판 표면 형상의 FE-SEM 이미지.

Fig. 5. FE-SEM image of surface morphology of PMMA light guiding plate.

있어서 PR아래 부분에서 자발적 식각이 크게 일어나서 undercut이 진행되었던 것을 알 수 있다. 아래 부분에서는 HBr 가스를 사용하여 taper 형태의 식각이 진행되는 것을 저지하였다. 그림 3은 포토리소그래피법으로 제작한 250nm의 패턴과 500nm의 공간주기의 실리콘 몰드를 보여주고 있다.

그림 4는 실리콘 몰드와 실리콘 몰드에 니켈을 전주하여 얻은 니켈 스탬퍼의 전사도를 보여주기 위한 FE-SEM 이미지를 보여주고 있다. 그림 4로부터 실리콘 몰드의 패턴 간 거리는 500nm이고 원기둥형 패턴의 크기는 260nm이고 패턴 사이의 간격은 240nm이었다. 그리고 니켈 스탬퍼의 패턴 간 거리는 500nm이고 패턴의 크기는 220nm이고 패턴 사이의 거리는 280nm이었다. 따라서 나노 패턴의 전사가 잘 이루어졌음을 보여주고 있다.

그림 5는 니켈스탬퍼를 이용하여 나노임프린트 리소그래피 공정을 수행하여 얻은 PMMA 도광판을 보여주고 있다. 니켈 스탬퍼의 패턴 간 거리는 500nm이고 원기둥형 패턴의 크기는 220nm이고 패턴 사이의 간격은 280nm인데 반해 PMMA 도광판의 패턴 간 거리는 500nm이고 패턴의 크기는 215nm이고 패턴 사이의 거리는 285nm이었다. 따라서 나노 패턴의 전사가 잘 이루어졌음을 보여주고 있다.

IV. 결론

나노 패턴을 갖는 PMMA 도광판을 제작하기 위하여 실리콘 몰드를 KrF 스캐너를 이용하여 포토리소그래피 공정을 이용하여 제작하였다. 포토리소그래피 공정시에 정제과효과를 BARC를 코팅하여 제거하여 양호한 PR 패턴을 얻었다. 실리콘 식각공정은 RIE를 이용하여 2단계로 진행하였다. 1단계는 실리콘 표면에 자연적으로 형성된 SiO₂막을 식각하기 위해서 진행하였고 2단계는 실리콘 물체를 식각하기 위해서 실시하였다. 실리콘 몰드 상에 전주도금법을 이용하여 나노스탬퍼를 제작하였다. 제작시 스트레스를 줄이기 위해서 전주도금 초기에는 도금속도를 매우 작게 유지하였다. 니켈 스탬퍼를 나노 임프린트 리소그래피 기술을 이용하여 원래의 실리콘 몰드의 나노패턴을 PMMA 플레이트에 전사하였다. 나노 임프린트 리소그래피 공정에서 니켈 스탬퍼의 온도를 140°C를 유지하면서 20kN의 접촉 압력을 주어서 PMMA 도광판을 제작하였다. 본 연구에서 제작된 나노 패턴을 갖는 PMMA 플레이트는 TFT-LCD의 BLU용 고휘도 도광판으로 사용될 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

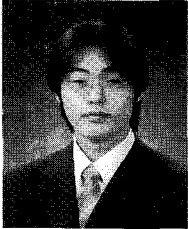
- [1] 호서대학교 디스플레이기술교육센터, "TFT-LCD 전문교육," 2003.
- [2] 특허청, "2000년 신기술 동향 조사보고서(백라이트 부분의 저소비 진력화)," 2000.
- [3] 황철진, 김종덕, 허영무, 이수용, 이규현, "LIGA-reflow 마이크로렌즈 패턴 금형 가공 및 LCD BLU 개발," 기계기술, pp. 164-168, 2004.
- [4] Z. Xu, L. Cao, Q. Tan, Q. He, and G. Jin, "Enhancement of the light output of light-emitting diode with double photonic crystals," *Optics Communications*, vol. 278, pp. 211-214, 2007.
- [5] 홍진수, 김창교, "면광원용 도광판," 대한민국 특허 출원번호 10-2007-61507, 2007.
- [6] 홍진수, 김창교, "도광판 및 그 제조방법," 대한민국 특허 출원번호 10-2007-61506, 2007.
- [7] S. Y. Chou et al., "Imprint of sub-25 nm vias and trenches in polymers," *Applied Physics Letter*, vol. 67, pp. 3114-3116, 1995.

[8] 이희철, “나노 임프린트 공정 기술의 디스플레이 응용 연구 현황 및 전망,” 한국정보디스플레이학회지, vol. 8, no. 6, 2007.

[9] W. J. Dauksher, N. V. Le, E. S. Ainley, K. J. Nordquist, K. A. Gehoski, S. R. Young, J. H. Baker, D. Convey, and P. S. Mangat, “Nano-imprint lithography: Templates, imprinting and wafer

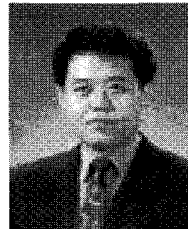
pattern transfer,” *Microelectronic Engineering*, vol. 83, pp. 929-932, 2006.

[10] A. Quattieri, T. Stomeo, S. Lattante, M. Anni, L. Martiradonna, and M. De Vittorio, “Fabrication of disordered photonic crystal structures for organic random lasing devices,” *Microelectronic Engineering*, vol. 84, pp. 1581-1584, 2007.



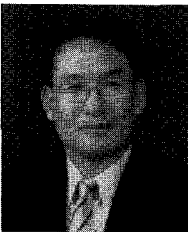
이 병 옥

2004년 순천향대학교 정보기술공학부 (공학사). 2006년 순천향대학교 전기공학과(공학석사). 2006년~현재 순천향대학교 대학원 전기로봇공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 디스플레이, 나노패터닝 공정.



홍 진 수

1957년 4월 15일생. 1980년 연세대학교 물리학과(이학사). 1982년 연세대학교 물리학과(이학석사). 1993년 University of Texas 물리학과(이학박사). 1994년~현재 순천향대학교 전자물리학과 교수. 관심 분야는 광학, 디스플레이.



김 창 교

1957년 10월 17일생. 1981년 연세대학교 전기공학과(공학사). 1983년 연세대학교 전기공학과(공학석사). 1992년 Vanderbilt University 전기공학과(공학박사). 1993년~현재 순천향대학교 전자정보공학과 교수. 관심분야는 디스플레이, MEMS, 가스

스센서, 나노소자.