

Photoresist Thermal Reflow를 이용한 Microlens Array 제작

황성기 · 백상훈 · 권진혁[†]

영남대학교 물리학과 Display Lab
⑧ 712-749 경상북도 경산시 대동

박이순

경북대학교 고분자공학과
⑧ 702-701 대구광역시 북구 산격동

(2009년 3월 20일 받음, 2009년 4월 3일 수정본 받음, 2009년 4월 7일 개재 확정)

PET 필름 위에 LCD 백라이트의 프리즘 집광시트의 역할을 대체 할 수 있는 microlens array(MLA) 시트를 설계하고 제작하였다. Photoresist thermal reflow 공정으로 두께 100 μm PET 필름 위에 MLA를 제작하였고, 노광 시간과 reflow의 온도, 시간 등의 변수에 따른 MLA의 형상 변화를 측정하였다.

주제어: Microlens array (MLA), Backlight unit, Thermal reflow

I. 서 론

액정표시장치(liquid crystal display, LCD)는 전기적인 신호에 의한 액정 분자의 배열 변화로 인하여 빛의 투과율의 변화가 나타나는 현상을 이용하여 영상정보를 표시하는 장치이다. LCD는 비발광소자이기 때문에 별도의 광원인 backlight unit (BLU)이 필요하다. BLU는 냉음극형광램프(cold cathode fluorescent lamp, CCFL) 또는 발광다이오드(LED) 등 광원의 설치 방식에 따라 광원이 액정 아래에 위치하는 직하형 방식과 광원이 도광판의 측면에 위치하는 측면형 방식이 있다.

그림 1은 CCFL을 사용하는 측면형 방식의 백라이트 유닛 장치를 도시한 단면도인데, 백라이트 유닛은 광을 발생시키는 광원과 광원을 감싸는 램프하우징, 광원로부터 입사되는 광을 면광원으로 전환하는 도광판, 도광판 하부에 위치하여 도광판의 하면 및 측면으로 진행하는 광을 상면으로 반사시키는 반사시트, 도광판을 경유한 광을 확산시키는 확산시트,

확산시트를 경유한 광의 진행방향과 시야각을 조절하는 프리즘시트, 프리즘시트를 보호하기 위한 보호시트, 각 부품을 고정하여 일체형 부품인 백라이트 유닛으로 만들어주는 케이스 역할을 하는 프레임, 백라이트 유닛을 보호하며 강도유지 및 지지 역할을 하는 커버로 구성된다.

현재의 BLU는 높은 수직 휘도와 적정 시야각을 확보하기 위하여 여러 장의 시트를 사용하여 제조하고 있다. 그 가운데 프리즘 시트는 광의 수직휘도를 높이는 대표적인 집광시트로써 가장 많이 사용되고 있다.

본 논문에서는 프리즘시트의 역할을 대체할 수 있는 MLA 시트의 개발과 제작방법에 대해 연구하였다. 현재 MLA를 제작하는 방법으로는 레이저 펄스를 이용한 에칭 방법,^[1-2] 포토레지스트를 사용한 reflow 방법,^[3-4] 건식 에칭 방법,^[5] CO₂ 가스 레이저를 사용한 유리 표면 가공 방법,^[6] 용해된 유리의 표면 장력을 이용한 방법,^[7] 폴리머의 레이저 증착과 이온빔 가공법,^[8] 잉크젯 기술,^[9] PR 가열법,^[10] 그레이-스케일 마스-

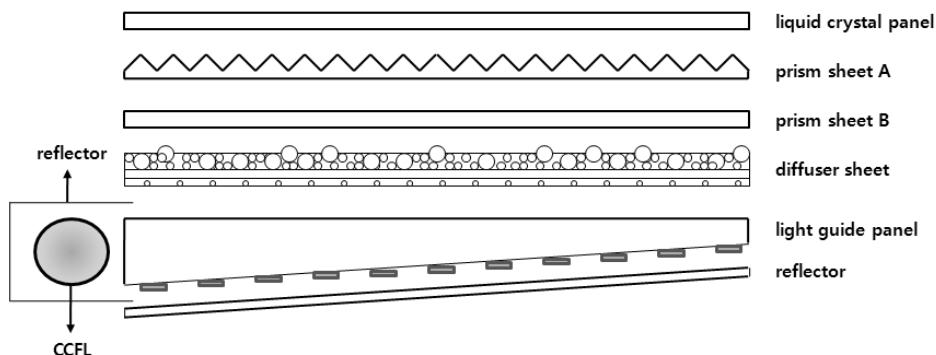


그림 1. 측면형 BLU의 대표적 구조.

[†]E-mail: jhkwon@ynu.ac.kr

크법^[11] 등 매우 다양하게 제작할 수 있다.^[12] 본 논문에서는 그 중 포토레지스트^[13]를 사용한 thermal reflow 방법을 이용하여 MLA 시트를 제작하였고, 최적의 노광조건과 reflow 온도와 시간을 구하였다.

II. MLA 제작의 이론적 배경

MLA와 비슷한 렌즈를 디자인 할 때는 초점거리 f 와 렌즈의 반직경 r , 정확한 곡률반경 R 이 주어져야 한다. 초점거리 f 를 식으로 나타내 보면,

$$f = \frac{R}{n-1} \quad (1)$$

여기서 n 은 photoresist의 굴절률이다.

그림 2에 보이는 것과 같이 원기둥 형태의 포토레지스트를 thermal reflow하여 반구형으로 만들 때, reflow 전후의 부피는 다음과 같다.

$$V_0 \times E = V = \pi r^2 T \quad (2)$$

여기서 E 는 부피축소인자이며, V_0 는 MLA의 부피, r 은 MLA 밑면의 원의 반경, T 는 원기둥의 높이이다. 두께 T 를 R 과 h 를 이용하여 나타내면,

$$T = \frac{h^2}{3r^2} (3R - h) \quad (3)$$

으로 되고, 다시 h 를 R 과 r 로 나타내면,

$$h = R - (R^2 - r^2)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

과 같이 표현할 수 있다. R 에 대한 식으로 풀면

$$R = \frac{r^2 + h^2}{2h} \quad (5)$$

식 (5)로 표현할 수 있는데, 다시 식 (5)를 식 (3)에 대입하면,

$$T = \frac{h}{6} \left(3 + \frac{h^2}{r^2} \right) \quad (6)$$

이 된다. 식 (1)에서 R 값을 식 (4)에 대입하여 MLA의 높이

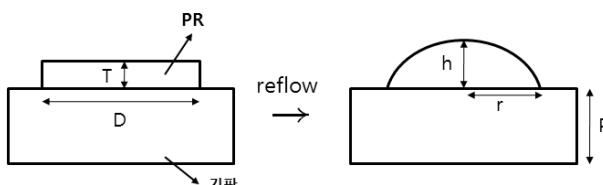


그림 2. Thermal reflow를 통한 원기둥에서 MLA로 변화되는 과정의 개념도.

를 구하면,

$$h = (n-1)f - \sqrt{(n-1)^2 f^2 - r^2} \quad (7)$$

이 된다.^[14]

III. MLA의 집광 성능에 대한 시뮬레이션

그림 3은 2장의 교차된 프리즘시트의 angular luminance profile의 simulation 결과이다. 수평 방향의 시야각은 약 65°이고, 수직 방향의 시야각은 약 67°이다. 수직 방향으로부터 약 78°의 각에서 강한 side light가 보이는데 이것은 contrast ratio를 떨어뜨리는 불필요한 광이다. 또한 수직 방향으로부터 30°지점에서 매우 가파른 빛의 감소가 나타나므로 30°보다 큰 측면 시야각이 나쁘다.

그림 4는 MLA 시트의 simulation 결과를 나타낸 것이다.

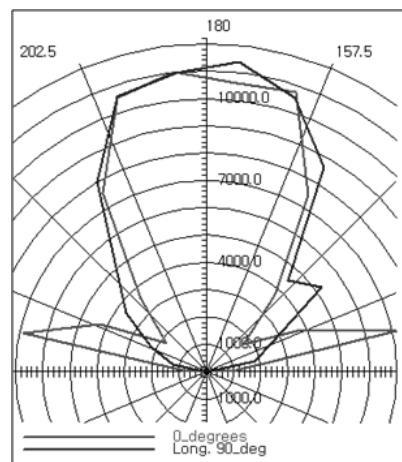


그림 3. Dual Cross BEF의 angular luminance profile의 simulation 결과. 수직휘도 = 10900 nit, 수평시야각 = 65°, 수직시야각 = 67°.

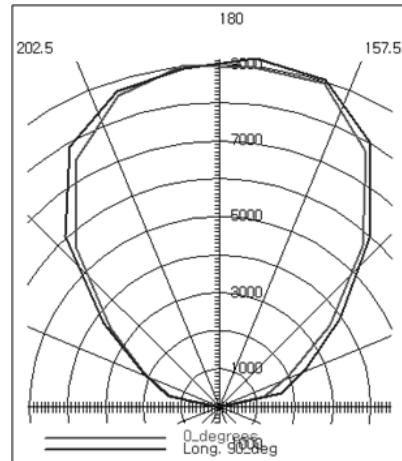


그림 4. MLA 시트의 angular luminance profile의 simulation 결과. 수직휘도 = 9000 nit, 수평시야각 = 80°, 수직시야각 = 84°

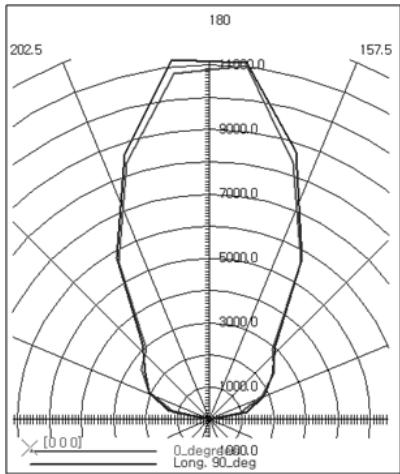


그림 5. 개구를 포함한 MLA 시트의 angular luminance profile의 simulation 결과. 수직휘도 = 11000 nit, 수평시야각 = 55°, 수직시야각 = 55°.

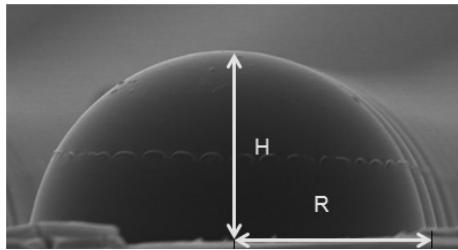


그림 6. MLA의 반경과 높이를 측면에서 본 모양.

MLA의 지름은 $140 \mu\text{m}$, MLA의 높이는 $60 \mu\text{m}$, $\text{HR} = 0.86$ 이다. 여기서 HR 값은 MLA의 반경(r)에 대한 높이(h)의 비율이다. 수직휘도는 2장의 프리즘 시트에 비해 낮고, 시야각은 side light 없이 수평 방향은 80° 이고, 수직 방향은 84° 이다.

그림 5는 개구를 포함한 MLA 시트의 simulation 결과를 나타낸 것이다. 설계상의 변수는 육각형 모양에서 피치는 $0.15 \times 0.13 \text{ mm}$, MLA의 간격은 $10 \mu\text{m}$, MLA의 지름은 $140 \mu\text{m}$, 개구를 제외한 필름 배면의 반사율은 95%, MLA의 높이는 $30 \mu\text{m}$, 개구의 지름은 $70 \mu\text{m}$, $\text{HR} = 0.43$ 이다. 시야각은 side light 없이 약 55° 이다.

그림 6는 MLA의 HR 비율을 측정하기 위해 측면에서 바라본 MLA 모양이다.^[15]

IV. Thermal Reflow를 이용한 MLA 제작

MLA를 만드는 공정은 스픬 코팅, 소프트 베이킹, 노광, PEB(post exposure baking), 현상, thermal reflow의 6가지 과정으로 이루어 진다. MLA를 만들기 위해 포토마스크를 오토캐드 프로그램을 이용하여 설계한 다음 외부 업체에 의뢰하여 제작하였고, 두께 $100 \mu\text{m}$ 의 PET 필름을 기판으로 하였다. PR은 DNR-L300-40, 현상액은 DPD-200을 사용하였다. 이외 스픬 코터는 ACE-1020 Series, 노광기는 MDA-400M, 오븐기는 JEIO-Tech 사의 ON-2를 사용하였다. 150°C 의 reflow

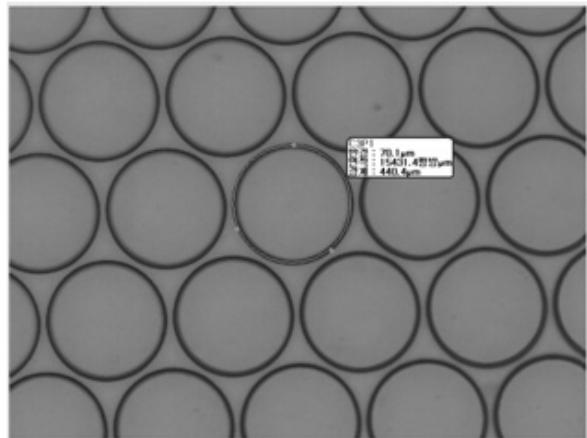


그림 7. 육각 형태로 배치된 포토레지스트 원기둥 모양.

과정에서 발생하는 PET 수축효과를 상쇄하기 위하여 먼저 150°C 에서 PET 필름을 15분 정도 pre-baking을 하였다. 스픬 코팅은 첫 번째 단계에서 100 rpm 으로 30초, 두 번째 단계에서 250 rpm 으로 30초 돌린 후 가열판에 올려 110°C 의 온도에서 13분 동안 덮개를 이용하여 소프트 베이킹을 한다. 덮개를 이용하여 소프트 베이킹을 하는 과정에서 온도가 너무 높거나 덮개를 덮고 있는 시간이 길어지면 열이 전도되는 양이 많아 PR이 녹는 현상이 생기고, 반대로 온도가 낮거나 덮개를 열고 있는 시간이 길어지면 PR이 불균일하게 발리기 때문에 적정한 온도와 시간이 중요하였다. 본 연구에서는 110°C 의 온도에서 처음 5분은 덮개를 덮어서 베이킹하고, 나머지 8분은 덮개를 열어놓은 상태에서 베이킹을 하여, PET 필름에 PR이 균일하게 발리도록 하였다. 스픬 코팅시 rpm이 작아서 생기는 커피 고리(coffee ring) 효과 때문에 필름의 가장자리에 PR이 쌓이게 되는 문제가 발생하는데 가장자리의 PET 필름을 잘라내는 것으로 문제를 해결하였다. 노광은 노광기 윗면에 전체 크기가 $120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$ 이고, $6.08 \text{ mm} \times 6.08 \text{ mm}$ 의 사각형에 직경이 $140 \mu\text{m}$, 피치가 $150 \mu\text{m}$ 크기의 원 모양이 어레이로 배열된 포토마스크를 놓는다.

윗면에는 MLA 포토마스크를 진공으로 고정시킨 후 하단부에는 PR이 발린 면을 위쪽으로 향하게 하여 필름을 놓은 후 포토마스크와 진공 접착시켜 50초 동안 노광한다. 접착이 잘 되지 않을 경우 노광기에 있는 substrate vacuum, wedge error, hard vacuum 등의 기능을 이용하여 최대한 압착시킨다. 노광된 필름은 다시 가열판으로 옮겨와 110°C 의 온도에서 2분 30초 동안 PEB를 한 후 1분 정도 공기 중에 식힌다. 식힌 필름은 DPD-200 현상액을 이용하여 필름 전체가 골고루 현상되도록 돌리면서 흔든다. 현상이 다 되면 중류수로 씻은 다음 공기 중에 말려 물기를 완전히 제거한다. 하드 베이킹을 하기 전에 광학 현미경을 통해 그림 7과 같은 원기둥 모양이 만들어졌는지 확인한다. 마지막으로 오븐에 넣어 150°C 의 온도에서 5분 정도 thermal reflow를 하면 그림 8과 같은 MLA 시트가 완성된다. 그림 8은 직경이 D , 높이가 T 인 PR 기둥이 thermal reflow를 통하여 반경이 r , 높이가 h 인 MLA 모양으로 변화되는 과정을 나타내는 개념도이다. thermal reflow

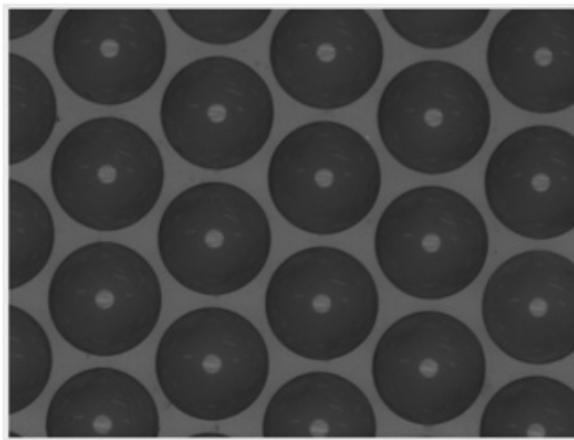


그림 8. PR thermal reflow 방법으로 제작된 MLA 사진.

가 일어나는 과정에서 온도가 너무 높거나, 시간이 길어지면 점성이 낮아지고, 유동성이 높아져서 MLA가 반구형으로 되는 경향 때문에, 적정한 온도와 시간이 중요하였다. 본 연구에서는 150°C 온도에 5분간 thermal reflow를 하여 MLA 직경이 원기둥 직경의 90% 이상이 유지되도록 하였다. 약간의 변수를 두어 스핀 코팅을 250 rpm에서 500 rpm으로 각각 30초간 진행하고 소프트 베이킹은 두께를 덜은 상태에서 2분, 연 상태에서 3분 30초로 총 5분 30초간 베이킹 하고 이후 thermal reflow를 150°C에서 1분 정도 해서 다른 조건의 MLA 시트를 제작하여 비교실험을 해 보았으나 250 RPM에서 얻은 MLA 시트보다 HR 비율이 상당히 떨어지는 결과를 얻어 250 RPM에서 최적임을 확인하였다. 본 연구에서는 지름 130 μm, 높이 55 μm인 MLA를 제작하였다.

V. 결론 및 토의

Thermal reflow 전에 필름 표면에 원기둥 형태의 구조물의 높이는 약 30~35 μm, 반지름은 70 μm이며, thermal reflow를 한 후 MLA의 높이는 약 55~60 μm, 반지름은 60~65 μm으로 약간 축소되었는데 이는 thermal reflow가 진행되는 가운데 막대 형태의 구조물이 고온에 의해 녹으면서 수축되어 MLA가 만들어지는 과정에서 발생되는 현상이다. 또한 이에 따른 HR 비율($= H/R$)은 이론적인 결과로는 약 0.785~0.857이나, 실험 결과는 0.846~1.00로 조금 높게 나온다. 500 RPM으로 조건을 다르게 하여 스핀 코팅을 한 막대 형태의 구조물의 높이는 약 30~35 μm, 반지름은 70 μm의 패턴이 나오고, thermal reflow를 한 후 MLA의 높이는 최대 27 μm, 반지름은 70 μm로 HR 비율이 0.386으로 이론적인 결과나 250 rpm의 결과보다도 낮게 나왔다. 따라서 side light를 가진 프리즘 시트를 MLA 시트가 대체할 수 있을 것으로 보이고, 개구를 가진 MLA 시트 또한 프리즘 시트를 대체할 수 있을 것으로 보인다. 그리고 본 연구에서 개발한 MLA 시트 위에 Cr층을 전기도금한 후 Cr층을 분리하여 마스터몰드를 형성하여 imprinting 방식으로 양산에 적용하는 것이 가능할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 지식혁신센터(첨단디스플레이 제조 공정 및 장비 연구센터) 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] S. Mihailov and S. Lazare, "Fabrication of refractive micro-lens array by excimer laser ablation of amorphous Teflon," *Appl. Opt.*, vol. 32, no. 31, pp. 6211-6218, 1993.
- [2] M. Kubo and M. Hanabusa, "Fabrication of micro-lenses by laser chemical vapor deposition," *Appl. Opt.*, vol. 29, no. 18, pp. 2755-2759, 1990.
- [3] T. R. Jay and M. B. Stern, "Preshaping photoresist for refractive microlens fabrication," *Opt. Eng.*, vol. 33, no. 11, pp. 3552-3555, 1994.
- [4] Y. Lin, C. Pan, K. Lin, S. Chen, J. Yang, and J. Yang, "Polymide as the pedestal of batch fabricated micro-ball lens and micro-mushroom array," *Micro Electro Mechanical systems, 2001 The 14th IEEE International Conference*, pp. 337-340, 2001.
- [5] M. B. Stern and T. R. Jay, "Dry etching for coherent refractive microlens array," *Opt. Eng.*, vol. 33, no. 11, pp. 3547-3551, 1994.
- [6] M. WAkaki, Y. Komachi, and G. Kanai, "Microlenses and microlens arrays formed on a glass plate by use of a CO₂ laser," *Appl. Opt.*, vol. 37, no. 4, pp. 627-631, 1998.
- [7] R. Steingruber and M. Fers, "Three-dimensional microstructure elements fabrication by electron beam lithography and dry etching technique," *Microelectronic engineering*, vol. 53, no. 1-4, pp. 539-542, 2000.
- [8] Y. Fu and N. K. Bryan, "Semiconductor microlenses fabricated by one-step focused ion beam direct writing," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 15, no. 2, pp. 229-231, 2002.
- [9] D. L. MacFarlane, V. Narayan, W. R. Cox, T. Chen, and D. J. Hayes, "Microjet fabrication of microlens array," *IEEE Photonics Technology Letter*, vol. 6, no. 6, pp. 1112-1114, 1994.
- [10] Z. D. Popovic, R. A. Sprague, and G. A. Neville Connel, "Technique for monolithic fabrication of microlens array," *Appl. Opt.*, vol. 27, no. 7, pp. 1281-1284, 1988.
- [11] T. J. Suleski and D. C. O'Shea, "Gray-scale masks for diffractive-optics fabrication: 1. Commercial slide imagers," *Appl. Opt.*, vol. 34, no. 32, pp. 7507-7517, 1995.
- [12] 류근걸, 김영근, 전광석, "풀리머 마이크로렌즈 제작," *청정기술*, 제14권 4호, pp. 205-211, 2005.
- [13] 동진쎄미켐, "Alkali development negative resist for lift-off process, DNR-L300."
- [14] F. T. O'Neill, J. T. Sheridan, "Photoresist reflow method of microlens production, part 1: background and experiment," *International Journal for Light and Electron Optics*, vol. 113, no. 9, pp. 391-404, 2002.
- [15] 박경주, "LCD backlight unit의 구조 분석 및 angular luminance의 최적화," *영남대학교 석사학위논문*, p. 14, 2005.

Fabrication of Microlens Array Using Photoresist Thermal Reflow

Sung Ki Hwang, Sang Hoon Baek, and Jin Hyuk Kwon[†]

Department of Physics, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Korea

[†]*E-mail: jhkwon@ynu.ac.kr*

Yi Soon Park

Polymer Science & Engineering, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

(Received March 20, 2009; Revised manuscript April 3, 2009; Accepted April 7, 2009)

An optical sheet with microlens array (MLA) is designed and fabricated as a substitute for the prism sheets of LCD backlight. Using photoresist thermal reflow, MLAs were fabricated on PET film with thickness of 100 μm , and we measured the change of MLA profile in terms of exposure time, reflow temperature and reflow time.

OCIS codes: (120.2040) Displays; (120.4610) Optical fabrication; (120.3620) Lens design.