

LED 빔조형에 의한 초소형 이미징 장치의 제조 기술[§]

주재영* · 송상빈* · 박순섭** · 이선규****†

* 한국광기술원 신광원조명사업단, **한국생산기술연구원 호남권지원본부, *** 광주과학기술원 정보기전공학부

LED Beam Shaping and Fabrication of Optical Components for LED-Based Fingerprint Imager

Joo Jae Young^{*}, Song Sang Bin^{*}, Park Sun Sub^{**} and Lee Sun-Kyu^{****†}

^{*} New Lighting Solution R&D Sector, Korea Photonics Technology Institute

^{**} Honam Technology Service Division, Korea Institute of Industrial Technology

^{***} School of Information and Mechatronics, Gwangju Institute of Science and Technology

(Received December 26, 2011 ; Revised July 31, 2012 ; Accepted July 31, 2012)

Key Words: LED Beam Shaping (발광다이오드 빔조형), Fingerprint Detection(지문인식)

초록: 본 연구는 초소형 광학 시스템을 구현할 수 있는 설계 및 제작의 방법론을 제시하고자 한다. 초소형 광학계에서는 조명 및 결상 광학소자의 성능과 소형화가 조광면의 균질도와 결상 된 이미지의 선명도에 중요한 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 얇은 두께로 실효 광도를 배가시키기 위한 초박형의 LED 빔조형 렌즈를 설계 제작하였다. 상기 렌즈는 중앙부의 비구면렌즈와 외각의 전반사 프레넬 가장자리 부로 구성되어 있다. 설계된 LED 빔조형 렌즈(직경 4.7 mm, 두께 0.6 mm)는 다이아몬드 선삭으로 중앙 비구면부의 전반사(TIR) 가장자리가 정밀하게 가공되었으며, LED 의 빔각을 150 도에서 17.5 도로 축소 시켰다. 다른 광학소자들 마이크로 프리즘, 결상광학용 프레넬 렌즈, 광가이드는 다양한 마이크로 나노 크기의 제조공정으로 일체형으로 성형되었다. 시작품으로 제작된 초소형 광학계(6.8 × 2.2 × 2.5 mm)는 마이크로 패턴을 결상의 가능성을 보여 주었고, 지문인식용 초소형광학계로서의 성능을 검증하였다.

Abstract: The Miniaturized Fingerprint Imager (MFI) is a slim optical mouse that can be used as an input device for application to wireless portable personnel communication devices such as smartphones. In this study, we have fabricated key optical components of an MFI, including the illumination optical components and imaging lens. An LED beam-shaping lens consisting of an aspheric lens and a Fresnel facet was successfully machined using a diamond turning machine (DTM). A customized V-shaped groove for beam path banding was fabricated by the bulk micromachining of silicon that was coated with aluminum using the shadow effect in thermal evaporation. The imaging lens and arrayed multilevel Fresnel lenses were fabricated by electron beam lithography and FAB etching, respectively. The proposed optical components are extremely compact and have high optical efficiency; therefore, they are applicable to ultraslim optical systems.

1. 서 론

1.1 LED 응용 초소형 광학계 연구 동향

LED 를 이용한 반도체 광원 기술은 GaN 기반

의 청색광원을 개발함으로써 급격한 발전의 기틀을 마련하게 되고 현재는 조명, 단거리 통신, 프린터, 광학계측, 전자제품용 디스플레이, 의료용에 까지 다양한 분야로 그 적용을 확대하고 있다.^(1,2) 이러한 적용분야 중 유비쿼터스 시대의 IT 기술과 융복합을 이루고 있으며 가장 주목 받는 분야는 BLU(Back Light Unit), 초소형 광학마우스, 초소형 프로젝터로 대표되는 LED 를 이용한 휴대용 개인 이동통신 단말기용 조명광학계이다.^(3,4)

Fig. 1 과 같은 이들 광학계는 두께가 수 mm 미

§ 이 논문은 대한기계학회 2011 년도 추계학술대회(2011.

11. 2.-4., EXCO) 발표논문임

† Corresponding Author, skyeec@gist.ac.kr

© 2012 The Korean Society of Mechanical Engineers



Fig. 1 Examples of ultra slim illumination optics

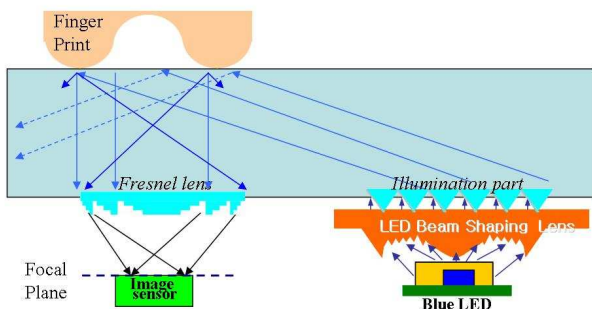


Fig. 2 Schematic of MFI

만의 초슬림 형 혹은 초소형 광학시스템이다. 이러한 광학시스템의 초소형화에서는 조명 및 결상 광학소자의 성능과 소형화가 조광면의 균질도와 결상된 이미지의 선명도에 중요한 영향을 미치게 된다. Osram, Philips Lumileds 그리고 Cree 와 같은 세계적인 LED 제조회사는 미약하지만 배광의 조절이 가능하고 고휘도를 가지는 소형화된 LED 를 속속 개발해 혹은 초소형 광학시스템 기술 발전을 가속화 시키고 있다.⁽⁵⁻⁷⁾

1.2 초소형 광학지문 인식기의 개요

Fig. 2 는 초슬림(광학계 두께 3 mm 이하)이라는 공간적 제약 내에서 초소형 지문인식 광학시스템 (Miniaturized Fingerprint Imager, MFI)의 계략도이다. MFI 광 경로를 설명하며, LED 에서 발광한 광은 LED 빔조형렌즈(Beam shaping lens)를 투과하여, 초슬림영역에서 그 빔각이 축소된다. 확산도가 현격히 줄어든 광은 반사굴절면(Illumination part)에서 주광의 방향이 지문면으로 전환된다. 지문면에 도달한 빛은 지문의 마루에서 산란을 일으켜 결상렌즈(Fresnel lens)를 투과해서 이미지 센서면에 결상되게 된다.

이를 위하여 본 논문에서는 마이크로 스케일의 광학소자의 제조방법 및 그 결과를 제시하고자

한다. LED 빔조형렌즈, 결상광학용 고해상도 프레넬 렌즈, 광가이드 등을 설계하였고, 설계된 광학시스템은 다양한 마이크로 나노 크기의 제조공정들(초정밀가공, 나노 임프린트, MEMS)로 제작하고, 일체형으로 성형되어 10 μm 선폭의 마이크로 패턴을 선명하게 결상하였고, 광포인팅 장치 및 지문인식용 초소형광학계로서의 우수한 성능을 보여주었다.

2. 광소자의 설계

2.1 조명광학설계

이러한 초소형 광학계를 설계 및 제작하기 위해서는 LED 광원을 전방확산 형 램버시안 광원이 아니라, 칩에서부터 패키징에 이르기까지 하나의 광학시스템으로 간주하여, 이를 통하여 5 면의 면광원이 모여서 이루어진 체적광원(Volume light Source)으로 해석한다. 체적광원 기반의 3 차원 광원에서 발광하는 광선의 경로를 제어하여 광원의 발광형태를 제어하는 LED 빔조형렌즈를 설계하여 실제 렌즈 적용 시 발생할 수 있는 다양한 문제점을 최소화하였다. 몬테카를로 광선 추적(Monte Carlo ray tracing) 방식의 조명광학 프로그램인 LightTools 에서 정밀하게 모델링된 GaN LED 칩의 구조와 패키지를 통해 근접영역 내에서 LED 의 광속 및 광도분포를 예측할 수 있다.

예측된 광도 및 광속 분포를 통해 최종적으로는 근접영역에서 LED 빔 성형을 가능하게 하였다. 렌즈의 소형화로 인해 가장 중요한 설계인자는 가공가능성과 광손실 최소화이다. Fig. 3 은 LightTools 소프트웨어로 모델링된 초소형 LED 와 LED 빔 성형렌즈이다. LED 칩은 사파이어 웨이퍼/Buffer/N-GaN/MWQ(Multi Quantum Well)/P-GaN/ITO 의 층으로 형성되게 설계하였고, 봉지재는 굴절률 1.5 의 Epoxy 로 설계하였다. 이러한 설계 기법은 LED 를 칩에서부터 패키징에 이르기 까지를 포함한 하나의 광학적 시스템으로 구체화 하며, LED 주변 수 mm 이내의 근접영역 (Near-field)에서 광도 및 광속 분포를 제공한다. LED 의 각 5 면의 발광 광선데이터들의 배광각별 광도값을 분석하고, 이를 이용하여 가상의 발광점에서 발광하는 5 개의 면 광원으로 분리하여 각 면에 대해 굴절 및 전반사를 이용하여 광선의 경로를 제어하여 목적 배광분포를 얻는 LED 빔조형렌즈를 설계하였다.

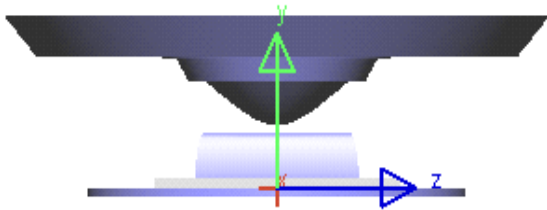


Fig. 3 Modeled LED with Beam shaping lens

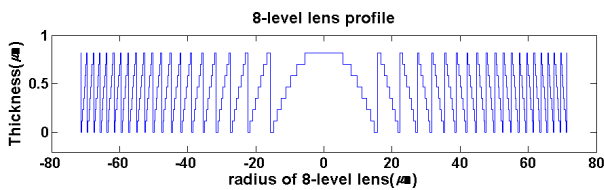


Fig. 4 Schematic of high-quality diffractive lens

LED 빔조형렌즈는 1 mm 미만의 초박형 구조를 가지면서도 근접영역에서 LED 빔을 성형하고 지향각을 조절하여 실효 광도값을 혁신적으로 증가 시켰다.

2.2 결상렌즈 설계

Fig. 4 는 초슬림 광학계에 적합한 고효율 회절 렌즈로써의 8-level lens 를 보여준다. 이 고효율 회절 렌즈의 주기 및 두께는 식(1)과 같이 광원의 위상차를 고려하여 계산될 수 있다.

$$R_{j,i} = \sqrt{2 \left(j - \frac{N-i}{N} \right) \lambda f + \left(\left(j - \frac{N-i}{N} \right) \lambda \right)^2}, \text{ where } d = \frac{(N-1)\lambda}{N(n_{PMMA} - 1)} \quad (1)$$

여기에서 $R_{j,i}$ 는 i 레벨, j 번째 패턴의 반경, λ 는 파장, d 는 렌즈 패턴 두께, n_{PMMA} 은 굴절률, N 은 레벨의 수이다.

본 연구에서 가공하고자 하는 고효율 회절 렌즈는 설계 목표치는 Table 1 과 같다.

3. 광소자의 제조

3.1 LED Beam Shaping Lens (BSL)

설계된 렌즈는 Fig. 5 와 같이 다이아몬드 선삭으로 중앙 비구면부의 전반사(TIR) 가장자리부가 정밀하게 가공되었다. 중심부 비구면의 형상 오차는 1.5 μm , 표면조도는 Ra 15nm 였다. 프레넬 패턴부의 직경은 3 mm 였으며, 두께는 0.6 mm 로 가공되었다. 그 광도 분포를 초소형 LED(1.6 \times 0.8 \times 0.25 mm)와 함께 LED 패키지 광도 측정장비로 측정된 결과, Fig. 6 과 같이, LED 의 빔각을 150 도에서

Table 1 Design targets of 8 level lens

설계파라미터	직경	Focal Length	최소 선폭	최대 선폭	패턴 두께
목표치	267 μm	143 μm	226 nm	11.17 μm	820 nm

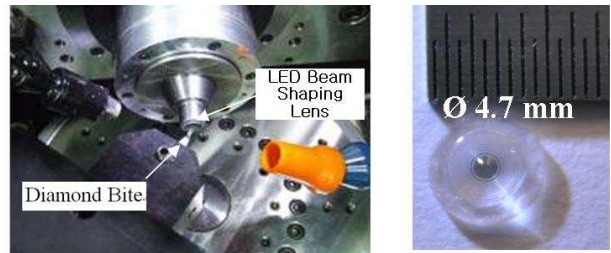


Fig. 5 Captured Image of Machined LED BSL

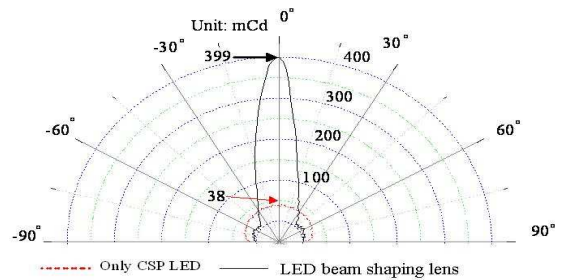


Fig. 6 Luminous intensity distribution of BSL with LED

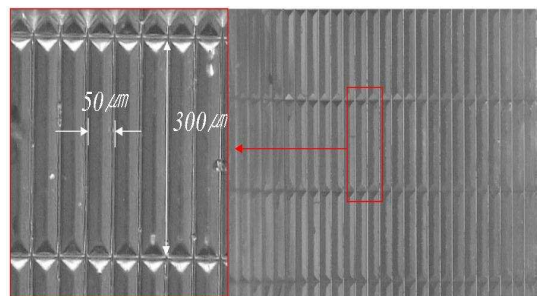


Fig. 7 Fabrication results of v-grooves

17.5 도로 축소 시켰다. 광손실은 약 40 % 정도였지만 중심광도 부근의 실효광도는 10 배 이상 증가하였다.

3.2 반사굴절광학계

Fig. 7 은 제조된 마이크로 반사 및 굴절용 조명계이다. 조명계용 몰드는 실리콘 웨이퍼를 TMAH 습식 에칭하여 제작되었으며, (100)/(111)의 격자면 에칭 비율 20 과 포토리소그래피에서의

얼라이먼트 오차 0.5 °를 반영하여 보정된 마스크를 설계 후 제작 하였다. 그 결과 폭 50 μm, 길이 300 μm로 설계된 v-groove 를 제작하였다.

3.3 결상렌즈

Fig. 8 은 초슬림 광학계에 적합한 고효율 회절 렌즈로써의 8-level lens 를 보여주고 있다. 초슬림 프레넬 결상 렌즈는 전자빔 노광 장치(JBX-5000LS)와 FAB plasma etching(60ML, ABARA Co., Ltd)를 통해 독립 노광 방식으로 제작되었다. 제조된 렌즈를 현미경과 SEM 을 이용하여 관찰한 결과 설계 기준 값 대비, 가공 오차는 ±20 nm 를 얻을 수 있었다. 또한 두께 가공 오차는 45 nm 로 측정 되었다.

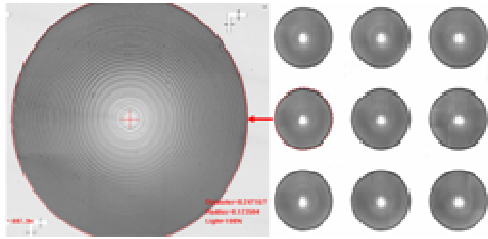


Fig. 8 Fabrication results of multi level Fresnel imaging lens

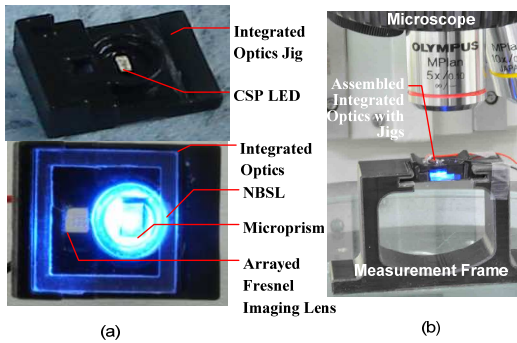


Fig. 9 (a) Assembled and fabricated optical components with measurement jigs (b) Image tester setup of a fingerprint imager

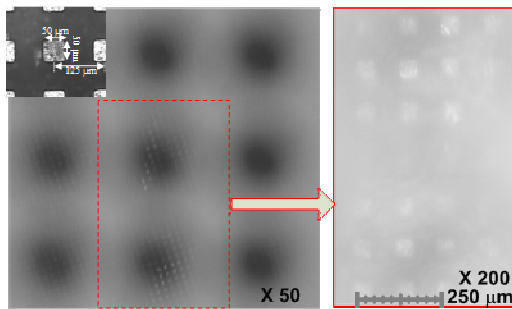


Fig. 10 Formed images on the image plane of the target specimen through microscopes

3.4 성능검증

Fig. 9 는 길이 5.9 mm, 두께 2.5 mm 의 MFI 시스템의 성능을 테스트하기 위해 제작된 테스트용 시작품 사진이다. LED 를 실장 한 프로토타입 지그 위에 빔조형렌즈를 두고 조명광학계와 결상렌즈가 결합된 일체형 광학소자를 위치시켰다. Fig. 10 은 50 μm × 50 μm의 구리 격자패턴을 MFI 촬상면에 두고 결상렌즈를 투과하여 현미경으로 관찰한 모습이다. 격자구조의 시편의 형상이 잘 이미징 되는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 초슬림 지문인식 장치용 마이크로 스케일의 광학소자인 초슬림 LED 빔 성형렌즈, 반사굴절 광학계 및 프레넬 결상광학 소자의 제조 방법 및 그 결과를 제시하였고 시스템을 구현하여 50 μm × 50 μm패턴을 이미징 한 결과를 제시하였다.

초슬림 LED 빔 성형렌즈는 몬테카를로 광선 추적(Monte Carlo ray tracing) 방식의 조명광학 소프트웨어로 GaN LED 칩의 정밀한 구조와 패키지를 모델링하고 근접영역 내에서 LED 의 광도분포를 분석하여 LED 빔조형렌즈를 설계/제작 하여, 기존에 불가능했던 근접영역에서의 광학계 설계 및 제작이 가능함을 보여주었다.

반사굴절 광학계는 굴절광학계인 프리즘에 반사층을 추가하여, 기존에 불가능했던 수 mm 이내 에 광선경로 변경이 가능한 광학계를 보여주었다.

프레넬 결상광학 소자는 기존 기계가공에서 불가능했던 수 nm 대의 피치/1 μm미만의 패턴 두께 를 가지는 초슬림 결상광학소자의 구현이 가능하게 하였다.

결론적으로 MFI 시스템을 구현하여 그 성능을 검증하였다. 이러한 LED 와 IT 기술을 융합이 필요한 초슬림광학계 에서는 초정밀 기계가공 및 MEMS 가공이 융합된 형태의 초정밀 복합가공이 필수적이라 하겠다.

후 기

이 논문은 2012 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단(No. 07810, 초슬림광포인팅 장치기술)의 지원과 지식경제부 및 한국산업기술평가 관리원의 산업융합원천기술개발사업(No. 10041120, 김진용 삽입관(5mm, 일회용)과 시술용 삽입관(8mm)의 교환 장착이 가능한 HD 급 3D 전자내시경 시스템 개발)의 일환으로 수행하였음.

참고문헌

- (1) Korea Patent Application Number 10-2008-0062799, Date 2008-06-30.
- (2) Woo, D. K., Hane, K., Cho, S. C. and Lee, S. K., 2009, "The Development of an Integral Optics System for a Slim Optical Mouse in a Slim Portable Electric," *J. Vac. Sci. Technol. B.*, Vol. 27, No. 3, pp. 1422~1427.
- (3) Joo, J. Y., Kang, C. S., Park, S. S. and Lee, S. K., 2009, "LED Beam Shaping Lens Based on the Near-Field Illumination," *Opt. Express*, Vol. 17, Iss. 2, pp. 23449~23458.
- (4) Joo, J. Y. and Lee, S. K., 2009, "Miniaturized TIR Fresnel Lens for Miniature Optical LED Applications," *IJPEM*, Vol. 10, No. 2, pp. 137~140.
- (5) Woo, D. K., Hane, K. and Lee, S. K., 2008, "High order Diffraction Grating Using v-Shaped Groove with Refractive and Reflective Surfaces," *Opt. Express*, Vol. 16, Iss. 25, pp. 21004~21011.
- (6) Lee, C. B., Hane, K., Kim, W. S. and Lee, S. K., 2008, "Design of the Retrodiffraction Gratings for the Polarization-Insensitive and the Polarization-Sensitive Characteristics by Using Taguchi Method," *Appl. Opt.*, Vol. 47, pp. 3246~3253.
- (7) Woo, D. K., Hane, K. and Lee, S. K., 2008, "Fabrication of a Multi-Level Lens Using Independent-Exposure Lithography and FAB Plasma Etching," *Journal of Optics A*, Vol. 10, No. 4, pp. 044001.