

반사면 굴절면으로 구성된 v-groove를 이용한 초소형 마이크로 조명계 Tilted Micro Illumination System using V-groove including Reflector and Refractor

*우도균¹, 하네 카즈히로², #이선규¹

*D. K. Woo¹, K. Hane², #S.K. Lee¹ (skyee@gist.ac.kr)

¹ 광주과학기술원 기전공학과, ²Tohoku University Dept. of Nanomechanics

Key words : Tilted micro illumination system, v-groove, silicon mould, shadowing effect, TMAH wet etching

1. 서론

최근 마이크로 이미지 시스템, 초소형 분광기 등과 같이 초소형 일체형 마이크로 광학 시스템이 다양하게 연구되고 있다[1-2]. 특히 암시야 조명계, 광학 메모리의 광학 헤드(optical head), 초소형 광학 마이크로 마우스와 같은 초소형 광학 시스템에서는 광원에서 전달되는 빛을 원하는 위치에 전달하기 위한 조명계가 필수적으로 사용되고 있다[3-4]. 하지만, 이러한 초소형 시스템은 크기 및 구조에 의해 광원에서부터 물체면까지 빛을 전달하는데 많은 제약이 따른다. 따라서 현재 초소형 고성능을 이루는 광학 시스템을 개발하기 위해 이러한 제약을 극복하면서 빛을 원하는 위치에 전달하는 조명계의 관심이 증가하는 추세이다.

기존의 조명계에서는 큰 각도를 이루며 빛의 경로를 변경하기 위하여 렌즈 및 프리즘과 같은 여러 가지 광학 부품을 사용하여 초소형 일체형 광학 시스템을 이루는데 많은 문제점을 가지고 있었다.

본 연구에서 이러한 문제를 해결하기 위해 제작이 용이하며 구조가 간단한 조건을 만족을 시키는 동시에 빛의 경로를 큰 각도로 변경할 수 있는 조명계 TMIS(Tilted Micro Illumination System)를 설계 제작 하였다. 본 연구에서 소개되는 TMIS는 그림 1 (a)와 같이 반사면과 굴절면으로 이루어진 v-groove 구조로 이루어져 있다.

지금까지 마이크로 렌즈와 마이크로 프리즘 등과 같은 초소형 광학 시스템을 제작하기 위해 MEMS 가공과 초정밀 가공 그리고 레이저 가공 분야에서 많은 연구들이 활발히 진행되어 왔다. 본 연구에서 제시하는 v-groove 금형 또한 초정밀 가공 및 레이저 가공에서도 많은 연구들이 발표 되었으나, 특히 MEMS 가공 분야에서 (100)의 실리콘 기판에 리소그래피와 습식 이방성 에칭의 단순한 공정으로 쉽게 제작할 수 있으며 현재는 서브 마이크론 단위의 v-groove도 쉽게 제작이 가능하다[5-7].

본 연구에서는 MEMS 가공 방식을 이용하여 v-groove 금형을 제작하였으며 반사면을 제작하기 위해 thermal evaporation 공장에서 shadowing effect를 이용하는 정밀 가공 방법을 제안한다[8].

2. 마이크로 조명계 TMIS 설계

그림 1 (a)는 본 연구에서 제안하는 조명계 TMIS의 구조 및 작동 원리를 보여주고 있으며 그림 1 (b)는 기존의 v-groove를 이용한 조명계를 나타내고 있다. 그림 1 (b)와 같이 PMMA로 양면이 굴절면으로 구성되어 있는 기존의 v-groove 조명계는 입사되는 빛을 단순히 스넬의 법칙으로 인해 굴절 시키므로 큰 각도로 빛을 전달하지 못한다. 하지만, 본 연구에서 제안되는 조명계 TMIS는 한 면에는 반사면으로, 다른 한 면은 굴절면으로 구성되어 있어 빛을 반사 굴절되는 원리에 의해 큰 각도로 전달할 수 있다. 이때 각각의 면에서 빛의 이동 경로를 결정하는 빛의 각도들은 v-groove구조와 스넬의 법칙을 이용하여 기하학적 방법으로 아래 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \theta_1 &= 15.9 + \theta_0 \\ \theta_2 &= \sin^{-1}\left(\frac{n_{air} \sin \theta_1}{n_{PMMA}}\right) \\ \theta_{TA} &= 54.7 + \theta_2 \end{aligned} \quad (1)$$

그 결과 수직으로 광원이 입사 될 경우($\theta_0 = 0^\circ$) 마지막 굴절되는 빛의 각도 θ_{TA} 는 65.3° 로 쉽게 계산된다. 위식에서 보듯이 이 각도 θ_{TA} 는 입사각과 PMMA 굴절률에 의해 결정되지만 재료의 굴절률보다 입사각에 크게 의존하게 되는 것을 알 수 있다. 즉, 입사각을 이용하여 조명계에서 방출되는 빛의 각도를 컨트롤 할 수 있다. 따라서 위에서 언급한 바와 같이 제안된 조명계 TMIS의 장점은 입사각을 조절함으로써 조명계를 통과해 나가는 빛의 경로를 큰 각도로 바꿀 수 있는 것이다.

조명계 설계를 위해 633nm의 파장을 갖는 He-Ne laser를 광원과 1.49의 굴절률 갖는 PMMA를 이용하였으며 v-groove가 갖는 주기는 $50\mu\text{m}$ 으로 설계 하였다.

3. 마이크로 조명계 TMIS 제작

그림 2는 마이크로 조명계 TMIS의 제작 순서를 보여주고 있다. 조명계 TMIS 제작은 크게 금형 제작과 replica 제작으로 나눌 수 있다.

조명계 mould 제작에 앞서 TMAH 습식 에칭에서 (100)/(111)의 격자면 에칭 비율 20과 포토리소그래피에서의 얼라이먼트 오차 0.5° 를 고려하여 마스크를 설계 하였다. 그 결과 폭 $50\mu\text{m}$, 길이 $300\mu\text{m}$ 로 설계된 v-groove를 제작하기 위해서는 실제 마스크 크기

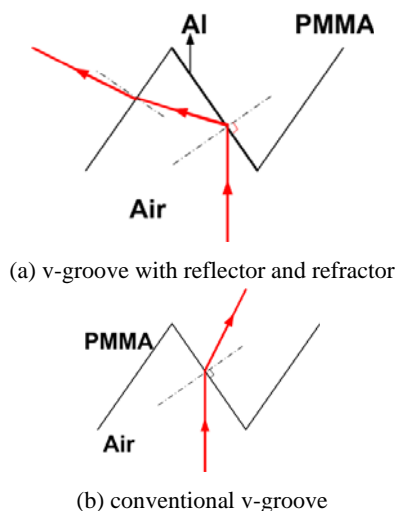


Fig. 1 Illumination system with v-groove

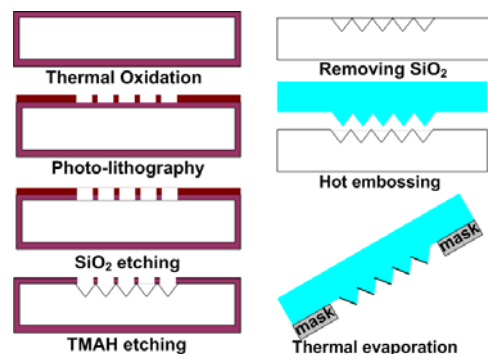


Fig. 2 Fabrication process

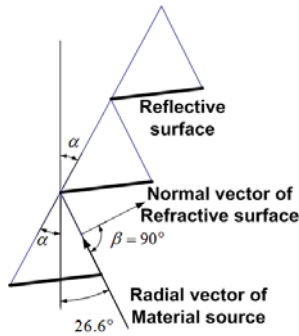


Fig. 3 Principle of coating with Al on reflective surface

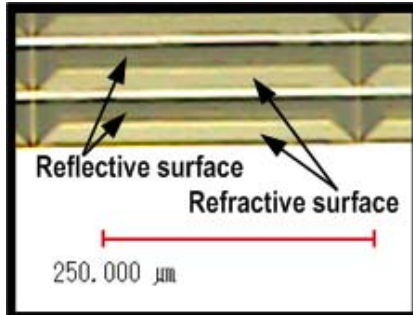


Fig. 4 Fabrication Results of the tilted micro illumination system

는 폭 $40\mu\text{m}$, 길이 $296\mu\text{m}$ 로 설계 되었다. 실리콘에 Thermal oxidation 공정을 통하여 450nm 의 SiO_2 을 얻은 후 두께가 $3\mu\text{m}$ 으로 코팅된 AZ 1500 38cp 포토레지스트를 이용하여 포토리소그래피를 실시하였다. TMAH 습식 에칭 시, SiO_2 를 마스크로 사용하기 위해 포토리소그래피로 얻어진 패턴을 $\text{BHF}(\text{HF}:\text{NH}_4\text{F}=9:100)$ 에칭을 통하여 SiO_2 의 패턴을 얻었다. 80°C 에서 (100) 면에 대해 $500\text{nm}/\text{min}$ 의 에칭율의 조건을 갖는 TMAH 습식 식각을 통해 $50\mu\text{m}$ 의 주기를 갖는 v-groove mould를 얻을 수 있었다.

replica제작은 hot-embossing 공정에서 PMMA 0.5g과 180°C 의 온도 그리고 4MPa의 압력의 조건을 이용하였다.

본 논문에서 소개하고 있는 조명계를 제작하기 위해 가장 중요한 가공 기술은 v-groove로 이루어진 replica에 한쪽 면만을 반사면으로 만드는 것이다. 본 연구에서 이러한 반사면 코팅 제작은 thermal evaporation에서의 shadowing effect를 이용한 방식을 제안한다. shadowing effect는 thermal evaporation이 가지고 있는 특성 중 직진성으로 인해 발생하는 현상으로서 증착하고자 하는 표면의 구조에 따라 증착 두께가 달라지거나 또는 증착이 가능한 부분과 증착이 가능하지 않은 부분을 발생하게 하는 효과를 말한다. 따라서 일반적으로 모든 표면에 일정한 두께로 증착하는 공정에서는 단점으로 작용하고 있으나 본 연구에서는 v-groove에 한 면만 증착 할 수 있는 가공 핵심 기술로 여겨진다. 따라서 그림 3과 같이 Al의 radial vector와 굴절면의 수직 벡터가 이루는 각 β 가 90° 를 이루게 되면 굴절면을 제외한 반사면에만 Al을 증착할 수 있게 된다.

그 결과 그림 5와 같이 반사면과 굴절면으로 이루어진 v-groove 조명계를 제작할 수 있었다.

4. 광학평가 및 고찰

설계 제작된 초소형 마이크로 조명계의 성능을 평가하기 위해 633nm 의 파장을 갖는 He-Ne laser를 광원으로 사용하였으며 입사 광은 조명계에 수직으로 입사되게 실험 하였다. 그림 5는 제작된 초소형 마이크로 조명계의 광학 평가 결과를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 조명계에 입사되는 입사광은 65° 의 각도로 굴절되는 것을 볼 수 있었다.

그 결과 본 연구에서 제안된 반사면과 굴절면으로 이루어진 v-groove를 이용한 조명계는 제작이 용이하며 구조가 단순하여 마이크로 이미지 시스템과 초소형 마이크로 분광기와 같은 다양

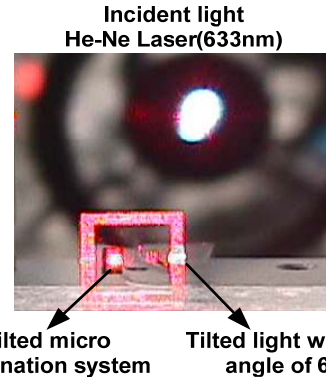


Fig. 5 Fabrication Results of the tilted micro illumination system

한 일체형 마이크로 광학 시스템의 조명계에 적용되어 초소형 고성능의 광학 시스템을 구현하는데 그 가능성을 보여주고 있다.

5. 결론

본 연구는 조명계에 입사되는 빛이 큰 각도를 가지며 굴절되는 새로운 조명계를 설계 제작에 관한 것 이다. 기존에 여러 분야에 널리 사용되는 굴절면으로만 이루어진 v-groove에 굴절면과 반사면을 적용하여 큰 각도로 빛의 경로를 바꿀 수 있었다. 이러한 조명계를 제작하기 위해 기존 v-groove를 제작하는 공정을 이용하였으며 반사면을 제작하기 위해서는 thermal evaporation의 shadowing effect를 이용하였다. 현재 점차 초소형화 되어가는 일체형 마이크로 광학 시스템을 고려해 볼 때, TMIS는 매우 다양한 시스템에 적용 가능하다. 그 뿐 아니라 TMIS를 적용함으로써 마이크로 광학 시스템은 좀 더 간결한 구조를 가지며 초소형화를 이룰 수 있다.

후기

본 연구는 Tohoku 대학과 공동연구로 진행 되었으며, 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국 과학재단 국가지정연구실 사업의 지원을 수행된 연구임 (No. R0A-2008-001-10065-0).

참고문헌

- Grabarnik, S., Emadi, A., Wu, J., Graaf, G. D., Vdovin, G., and Wolffenbittel, R. F., "IC-compatible microspectrometer using a planar imaging diffraction grating." Proc. SPIE, 6992, 699215, 2008
- Ura, S., Okayama, F., Shiroshita, K., Nishio, K., Sasaki, T., Nishihara, H., Yotsuya, T., Okano, M., and Satoh, K., "planar reflection grating lens for compact." Appl. Opt., 43, 2, 2003
- Noda, N., Kamimura, S., "A new microscope optics for laser dar-field illumination applied to high precision two dimensional measurement of specimen displacement," Rev. Sci. Instrum. 79, 023704, 2008
- Woo, D. K., Hane, H., Cho, S. C., Lee, S. K., "The development of an integral optics system for a slim optical mouse in a slim portable electric device," conference on nanoMan 2008.
- J. Yan, K. Maekawa, J. Tamaki, T. Kuriyagawa, "Micro grooving on single-crystal germanium for infrared Fresnel lenses", J. Micromech. Microeng. 15(2005), pp.1925-1931
- H. Hagino, C. S. Park, H. Kikuta, K. Iwata, "Multilevel computer generated hologram on a curved surface for high power CO₂ laser beam shaping, Proc. 11th ICPE, pp281-284(2006)
- 우도균, 하네 카즈히로, 이선규, "전자빔의 독립 노광 방식을 이용한 마이크로 멀티레벨 렌즈 제작," KSPE 07S117, 187-188, 2007
- Madou, M. J., "Fundamentals of MICROFABRICATION," CRC Press, pp135-138, 2002