

가변 초점거리 마이크로 유체렌즈 제작

이준석 (경북대 대학원 기계공학부), 박준근 (경북대 기계공학과), 김규만* (경북대 기계공학과)

Fabrication of a Micro fluidic Lens having variable focal length

J. S. Lee (Mecha. Eng. Dept. KNU), J. G. Park (Mechanical Eng. Dept., KNU)
and G. M. Kim (Mechanical Eng. Dept., KNU)

ABSTRACT

A microlens connected to microfluidic channel is fabricated. The microlens is sealed with an elastomeric membrane which deforms by pressure of fluid driven by a syringe pump resulting in the shape change of the microlens. The optical properties of the microlens could be controlled by changing the microlens shape. The microlens system were made of an elastomer, PDMS, using molding from a photoplastic master patterned by UV photolithography. The test results show the optical property of the lens could be made into convex and concave type by applying the fluidic pressure positive and negative.

Key Words : Micro Lens(마이크로 렌즈), PDMS(탄성중합체), MEMS

1. 서론

마이크로 렌즈는 의학용 내시경, 텔레커뮤니케이션, 광학 데이터 스토리지 (optical data storage), 그리고 광 스위치 (optical switch)를 비롯한 다양한 광학부품에 사용될 수 있어 매우 광범위한 응용분야를 가진다. 이러한 마이크로 렌즈를 제작하기 위한 다양한 방법들이 개발되어 왔다. 일반적으로 마이크로 렌즈는 일정한 형상을 지니고 초점거리가 고정되어 있는데, 이러한 고정 초점거리 마이크로 렌즈는 기계가공으로 몰드를 제작하거나[1], PR 의 reflow[2], LIGA 공정[3] 등을 이용하여 제작하였다.

한편 가변초점 마이크로 렌즈는 초점거리를 변화시켜 광학적 특성을 조절할 수 있기 때문에 기존의 응용분야 외에 많은 새로운 분야로 응용될 수 있다. 초점거리를 조절하기 위하여 유체에 전기장을 가하여 렌즈의 형상을 변화시키거나[4] 액정 (liquid crystal)의 극성을 변화시키는 전기적 방법[5] 과 마이크로 채널 내 유체를 가압하여 렌즈형상을 변화시키는 물리적 방법[6]이 있다.

본 연구에서는 마이크로 가공기술을 이용하여 마이크로 채널과 마이크로 렌즈를 제작하고 채널

내 유체를 가압하여 초점거리를 변화시키는 마이크로 유체렌즈 제작을 위한 기초 연구를 수행하였다.

2. 마이크로 유체렌즈 제작

2.1 마이크로 유체렌즈

마이크로 유체렌즈는 Fig. 1 에 나타난 바와 같이 유체로 채워져 있고 유체의 공급 및 이동을 위한 마이크로 채널로 연결되어 있다. 렌즈의 한쪽 면은 얇은 탄성중합체 필름으로 봉합되어 있다. 실린지 펌프를 이용하여 유체를 마이크로 채널을 통하여 주입하면 유체렌즈 내 압력이 증가, 탄성 중합체 필름이 변형을 일으켜 궁극적으로 마이크로 렌즈의 형상을 변화시킨다. 이러한 렌즈의 형상을 제어하여 렌즈의 초점거리를 조절함으로써 광학적 특성을 제어할 수 있다. 또한 사용된 유체의 굴절률(refractive index)에 따라 초점거리의 조절이 가능하다.

제작된 렌즈는 100um 에서 1mm 의 다양한 직경으로 제작하였고 탄성중합체 렌즈 필름의 두께는 30um 이다. 단일 렌즈(single lens)와 렌즈 어레이 두 가지 형태로 설계하였다.

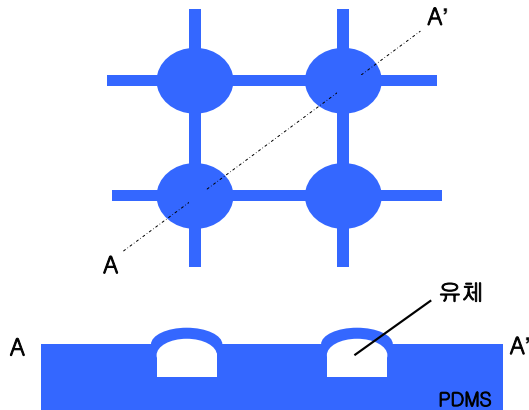


Fig. 1 Schematic view of an array type microlens.

2.2 제작

렌즈 필름과 렌즈 및 채널은 모두 탄성중합체인 PDMS로 제작하였다. PDMS는 가격이 싸고 재질이 투명하여 광학적 분석을 하는데 용이하고 고탄성 소재이다. 그리고 몰딩을 통해 간단하게 마이크로 렌즈와 채널을 만들 수 있다. 우선 UV 포토리소그래피(photolithography)로 SU-8 마스터를 제작하고 몰딩공정으로 PDMS 마이크로 렌즈 및 채널을 제작하였다. 제작된 마이크로 렌즈에 PDMS 필름으로 실링한 후 실린지 펌프로 유체를 주입하고, 가압하여 PDMS 필름이 변형하면서 렌즈의 형상을 변화시켰다. 자세한 제작 공정은 Fig. 2에 나타내었다. 렌즈의 직경이 100 μm 에서 1mm의 마이크로 렌즈 형태를 설계한다. 마이크로 렌즈와 채널을 위한 필름 마스크를 제작한 다음 SU-8을 웨이퍼 위에 스핀 코팅한 뒤 포토리소그래피를 이용하여 SU-8 몰드 마스터를 만든다. 몰드에 정의된 마이크로 렌즈와 채널을 PDMS(Dow corning)에 전사하기 위해 Resine 과 Cross linker를 9:1로 혼합한 PDMS를 SU-8 몰드에 부어 65°C에서 1시간 동안 굽는다. SU-8 몰드와 굳어진 PDMS를 조심스럽게 분리시켜 PDMS 마이크로 렌즈를 만든다. 그리고 유체의 통로가 될 수 있는 구멍을 채널 양쪽에 뚫어준다. 유체가 통과할 수 있는 채널 형태를 완성하기 위해 PDMS 필름을 제작한다. PDMS를 웨이퍼 위에 붓고 2500rpm으로 스핀 코팅하여 32 μm 두께의 PDMS 필름을 만든다. PDMS 필름을 균히기 위해 오븐에 넣고 65°C에서 20분 동안 가열한다. PDMS 필름은 두께가 얇기 때문에 웨이퍼에서 떼어낼 때 찢어지기 쉽다. 따라서 제작한 마이크로 렌즈 몰드를 웨이퍼 위에 접착된 PDMS 필름에 High frequency generator를 사용하여 먼저 접착시킨다. 이후에 마이크로 렌즈 몰드와 PDMS 필

름을 같이 떼어낸다. 완성된 마이크로 렌즈로 물체를 관찰하기 위해 물체를 댈 수 있는 PDMS 지그를 만들어 준다. 지그는 웨이퍼 위에 PDMS를 붓고 500rpm으로 스핀 코팅한 후 오븐에서 65°C에서 20분간 가열한다. 렌즈의 밑부분에 물체를 댈 때 렌즈에 영향을 미치지 않게 하기 위해 마이크로 렌즈의 직경보다 크게 구멍을 뚫어 준다. 제작된 PDMS 지그를 웨이퍼에서 떼어낸다. PDMS 몰드와 떼어낸 PDMS 지그 부분을 High frequency generator를 사용하여 접착하여 완성한다.

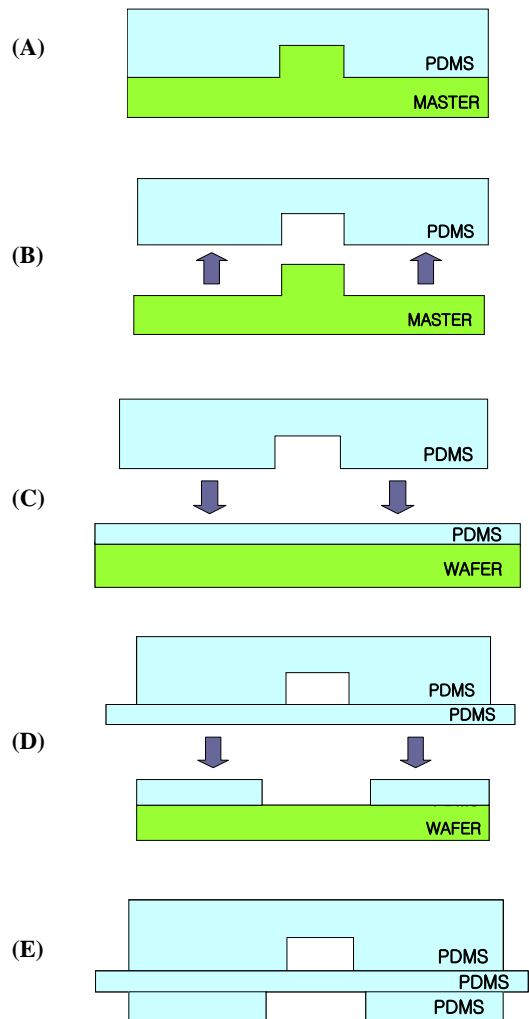


Fig. 2 Schematic overview of microlens fabrication process. (a) making a PDMS mold with SU-8 master (b) peeling off PDMS from master (c) attaching PDMS film to microlens mold (d) attaching PDMS for a zig to microlens mold (e) completed microlens

3. 결과 및 토의

마이크로 렌즈에 유체를 주입하기 위해서 채널의 양쪽에 튜브를 설치하였다. 마이크로 렌즈의 직경은 1mm이고 array모양의 마이크로 렌즈를 사용하였다. 튜브 한 쪽에 주사기를 연결하고 실린지 펌프를 이용하여 압력을 가압하였다. 펌프의 가압조건은 $0.026\text{mm}^3/\text{min}$ 이다. 실린지 펌프의 압력이 너무 강하면 튜브와 PDMS 사이나 혹은 PDMS와 PDMS 사이에서 물이 새어 나오게 되므로 서서히 압력을 가하였다. 마이크로 채널 안에 공기가 들어 있으므로 반대편 튜브로 물이 빠져 나오면 주사기를 연결하여 반대편을 막아주었다. 현미경을 통해서 렌즈의 형태를 관찰한다. Fig. 4는 비어 있는 렌즈 채널에 유체가 주입되면서 렌즈의 형상이 변화하는 모습을 나타내고 있다. 시간이 지나면서 마이크로 렌즈 내에 있는 공기를 유체가 밀어낸 후 렌즈가 부풀어 오르는 것을 볼 수 있다.

Fig. 5는 마이크로 렌즈의 초점거리 조절 테스트 결과를 나타내고 있다. 마이크로 렌즈의 유체가압 및 감압에 따른 마이크로 렌즈의 광학적 특성 변화를 확인하기 위하여 미세 패턴 위에 렌즈를 올려 놓고 렌즈를 통한 미세 패턴의 형상을 관찰하였다. 사용된 마이크로 렌즈의 직경은 $500\mu\text{m}$ 이고, 미세 패턴의 라인 두께는 $100\mu\text{m}$ 이다. 실린지 펌프를 사용하여 유체를 마이크로 렌즈 내로 투입하였다. 렌즈 내에 유체가 가득 차게 되면(Fig. 5(a)) 반대쪽 유체 출구를 막고 계속 가압하였다. 가압조건은 $0.026\text{mm}^3/\text{min}$ 이다. 마이크로 렌즈 내로 유체가 차오르면서 렌즈가 볼록한 모양을 가지게 된다. 볼록 렌즈의 효과처럼 마이크로 렌즈 밑에 물체가 커져 보이는 것을 볼 수 있다.(Fig. 5(b)) 실린지 펌프를 같은 조건으로 감압하였을 때 마이크로 렌즈가 오목한 모양을 가지게 된다. 오목렌즈의 효과처럼 마이크로 렌즈 밑의 물체가 작아져 보이는 것을 볼 수 있다.(Fig. 5(c))

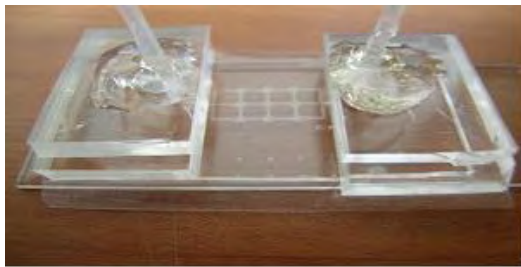


Fig.3 Photo of a fabricated microlens channel network

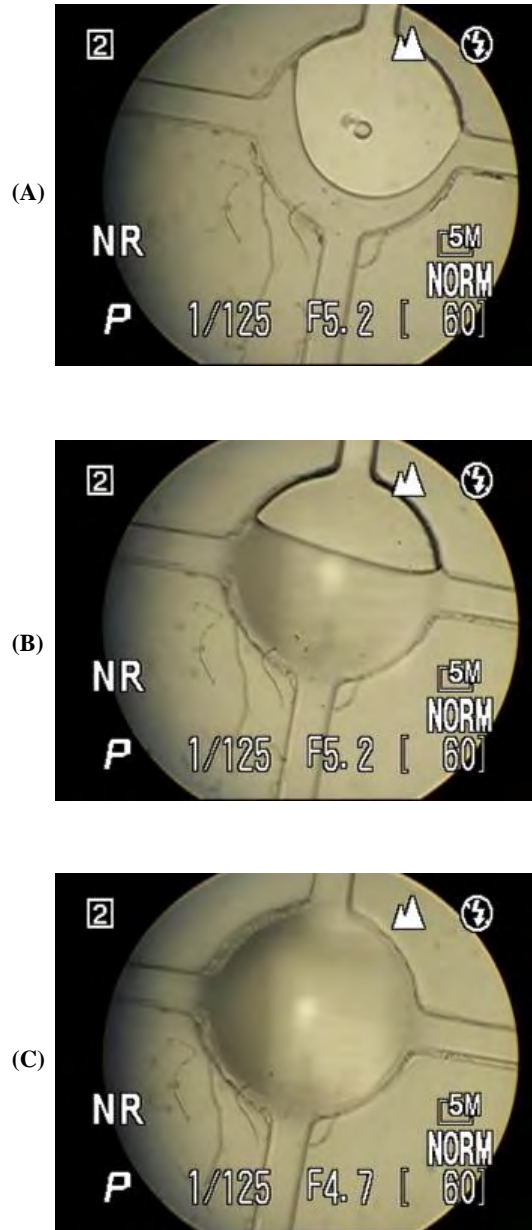


Fig. 4 Optical image of a microlens (a) water flow into a microlens (b) filling a microlens with water (c) expanded microlens

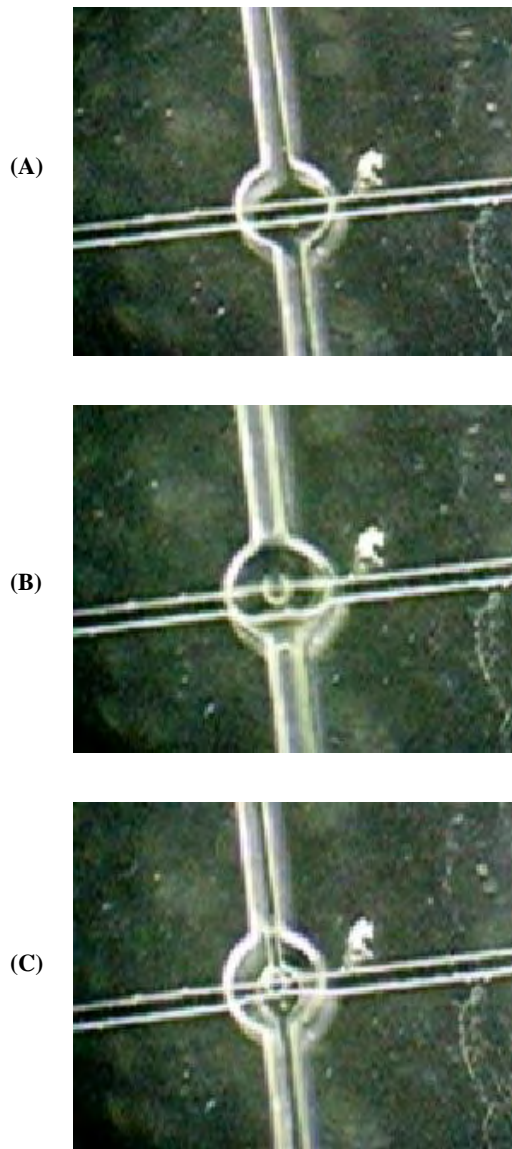


Fig. 5 Optical images of a microlens (a) no pressure applied (b) positive pressure applied (convex type lens) (c) negative pressure applied (concave type lens)

4. 결론

본 연구는 유체의 압력을 이용하여 곡률반경을 변화시킬 수 있는 마이크로 유체렌즈를 제작하였다. 마이크로 렌즈 공간과 마이크로 채널 및 렌즈필름으로 구성되는 마이크로 렌즈는 모두 PDMS로 제작하였다. 마이크로 채널을 통하여 렌즈공간에 유체를 채우고 실린지 펌프를 이용하여 마이크로 렌즈에 유체를 가압하거나 감압하여 렌즈의 초점에

따라 렌즈 밑의 미세 패턴의 형상이 변하는 것을 확인하였다.

참고문헌

1. 홍성민, 이동주, 채태진, 최두선, 이응숙, “연질재료의 마이크로 구형렌즈금형 가공특성에 관한 연구,” 한국정밀공학회 2004년도 추계학술대회 논문집, pp. 1466-1469, 2004
2. Mao-Kuo Wei, I-Ling Su, Ming-Chang Jung and Kai-Wen Huang, “Real-time observation for the formation of microlens arrays fabricated using thermal reflow process,” Tamkang Journal of Science and Engineering, Vol. 7, No. 2, pp. 81-86, 2004.
3. 이성근, 이승섭, “변형된 LIGA 공정을 이용한 마이크로 렌즈 제작방법,” 대한기계학회논문집 A 권, 제 26 권, 제 11 호, pp. 2450-2456, 2002.
4. T. Krupenkin, S. Yang, and P. Mach, “Tunable liquid microlens,” Applied physics letters, Vol. 82, No. 3 p316
5. L. G. Commander, S. E. Dzy, D. R. Selviah “Variable focal length microlenses,” Optics communications, Vol. 177 pp. 157-170, 2000.
6. Ki-Hun Jeong, Gang L. Liu, Nikolas Chronis, and Luke P. Lee, “Tunable microdoublet lens array,” Proceedings, 17th IEEE international conference on Micro electro mechanical systems, pp. 37-40, 2004.